

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO



“APLICACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA DETERMINAR LA DIFUSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS BAJO CONDICIONES FÍSICAS Y METEOROLÓGICAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”.

Proyecto de Investigación, presentado ante el Instituto de Postgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de Magíster en Matemática Básica.

AUTORA: NELLY PATRICIA PERUGACHI CAHUEÑAS

TUTORA: Dra. CECILIA TERESA LIMAICO NIETO;M.Sc.

Riobamba –Ecuador

2016



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Proyecto de Investigación, titulado “**Aplicación de un modelo matemático para determinar la difusión de contaminantes atmosféricos bajo condiciones físicas y meteorológicas de la ciudad de Riobamba**”, de responsabilidad de la Inga. Nelly Patricia Perugachi Cahueñas ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

Dr. Juan Vargas; M.Sc.
PRESIDENTE

FIRMA

Dra. Cecilia Teresa Limaico Nieto; M.Sc.
DIRECTORA

FIRMA

Dr. José Rigoberto Muñoz Cargua; M.Sc.
MIEMBRO

FIRMA

Dra. Lourdes del Carmen Zúñiga Lema; M.Sc.
MIEMBRO

FIRMA

DOCUMENTALISTA SISBIB ESPOCH

FIRMA

Riobamba, 2016

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Nelly Patricia Perugachi Cahueñas, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente Proyecto de Investigación, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

FIRMA

No.0603341736

DEDICATORIA

A nuestro Señor Jesús a mi padre de los cielos mi Dios que me ha guiado para cumplir mis metas.

A mis padres por todo el apoyo incondicional y al Dr. A. H, por su ayuda y dedicación por que a pesar de las dificultades siempre estuvieron presentes motivándome para culminar esta meta.

A mis hermanos Fernando y su esposa Carlita, Fabián, que han estado cerca en mis más difíciles momentos.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar un especial agradecimiento a mi tutora Dra. Cecilia Limaico, y asesores Dra. Lurdes Zúñiga, Dr. Rigoberto Muñoz, y al Dr. Arquimides Haro que me han guiado en el proceso de la realización de tesis.

Agradezco a mis padres y a mi hermano Fabián y Luis y su esposa Carlita por estar presentes en cada proceso de la maestría dándome su apoyo.

A mis amigos Luis y Susana, Leonor, que han estado presente y me han brindado su apoyo incondicional para el cumplimiento de esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
INDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I	
11. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.3. Sistematización del problema.....	2
1.4. Objetivos	2
1.4.1 <i>General</i>	2
1.5. Justificación.....	3
1.6. Viabilidad.....	4
1.7. Marco hipotético	4
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Atmósfera.....	7
2.2. Composición de la atmósfera	8
2.3 Estructura de la atmósfera.....	9
2.4 Capa límite atmosférica	11
2.5 Dinámica atmosférica	12
2.6 Propiedades y características de los movimientos atmosféricos	13
2.7 Parámetros meteorológicos.....	14
2.8 Variables y ecuaciones simplificadas del estado de la atmosfera.....	17
2.9 Turbulencia energética simplificada a macroescala	18
2.10 Perfiles y flujos en la capa superficial	20
2.11 Estabilidad atmosférica.....	22

2.12	Contaminación atmosférica	24
2.12.1	<i>Origen y fuentes de la contaminación atmosférica</i>	24
2.12.2	<i>Fuentes de contaminación atmosférica</i>	25
2.12.3.	<i>Contaminantes atmosféricos</i>	26
2.13	Unidades de concentración	28
2.14	Efectos de la contaminación atmosférica.....	29
2.15	Modelos de dispersión de contaminantes.	31
2.16	Modelos Lagrangeanos y Eulerianos	32
2.17	Modelo Gaussiano.	33
2.18	Formación de "Penachos"	33
2.19	Modelo gaussiano para contaminantes que no reaccionan.	35
2.20	Ecuación de la difusión.....	37
CAPÍTULO III		
3.	MARCO METODOLÓGICO.....	39
3.1.	Diseño de la investigación	39
3.6.1.	<i>Modelo ISCTL</i>	41
3.6.2.	<i>Descripción general del modelo</i>	42
3.6.3.	<i>Ingreso de datos meteorológicos</i>	43
CAPÍTULO IV		
4.	RESULTADOS	54
4.1.	Descripción general de la zona	54
4.1.1.	<i>Características de la Zona</i>	54
a)	Geología regional.....	54
b)	Hidrografía.....	55
c)	Climatología.....	55
d)	Aspectos demográficos.....	55
4.2	Resultados obtenidos.....	56
4.2.1	<i>Datos Meteorológicos</i>	56
4.2.2	<i>Resultados por días</i>	58
4.2.3	<i>Resultados por hora</i>	63
4.2.4	<i>Resultados por mes</i>	68
4.2.5	<i>Estabilidad atmosférica</i>	72
4.2.6	<i>Dispersión de contaminante</i>	75
CONCLUSIONES		78

RECOMENDACIONES.....	79
BIBLIOGRAFÍA:	80
BIBLIOGRAFÍA:	81
ANEXO A: DATOS METEREOLÓGICOS VELOCIDAD DEL VIENTO.....	82
2010	82
ANEXO B: DATOS METEREOLÓGICOS TEMPERATURA AMBIENTE.....	83
2010	83
ANEXO C: DATOS METEREOLÓGICOS RADIACIÓN SOLAR 2010.....	84
ANEXO D: DATOS METEREOLÓGICOS PRESIÓN ATMOSFÉRICA	85
2010	85
ANEXO E: DATOS METEREOLÓGICOS HUMEDAD 2010.....	86
ANEXO F: DATOS METEREOLÓGICOS DIRECCIÓN.....	87
DEL VIENTO 2010.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1.	Operacionalización conceptual de las variables	5
Tabla 2-1.	Operacionalización metodológica de las variables	6
Tabla 1-2.	Composición del aire seco a nivel del mar	8
Tabla 2-2.	Determinación de la nubosidad	16
Tabla 3-2.	Categorías de estabilidad Pasquill	24
Tabla 4-2.	Clases de estabilidad Pasquill.....	24
Tabla 1-3.	Ingreso de los parámetros meteorológicos por hora requeridos por el.....	44
	modelo.	44
Tabla 2-3.	Valores ingresados para los exponentes del perfil del viento y los.....	44
	gradientes vertical de temperatura potencial.	44
Tabla 3-3.	Ingreso meteorológicos requeridos por el modelo a intervalos.....	45
	grandes de tiempo.	45
Tabla 4-3.	Posibles combinaciones de la velocidad de viento y las categorías de	45
	la estabilidad de Pasquill.....	45
Tabla 5-3.	Datos de ingreso requeridos por un modelo de difusión.	51
Tabla 1-4.	Caracterización de parámetros meteorológicos por día.	58
Tabla 2-4.	Caracterización de datos meteorológicos por hora.....	63
Tabla 3-4.	Caracterización de datos meteorológicos por mes	68
Tabla 3-4.	Datos de fuente medias usadas en el modelo de difusión ISCLT.	75
Tabla 4-4.	Máximos de concentración tomados	76
	desde el Sur y Oeste	76
Tabla 5-4.	Máximos de concentración según norma de emisiones, calculado	77
	para las condiciones de la ciudad de Riobamba.	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2.	Esquema de la evolución de la atmósfera	8
Figura 5-2.	Penachos de chimeneas espirales	34
Figura 6-2.	Penachos de chimeneas abanico	34
Figura 7-2.	Penachos de chimeneas de cono	34
Figura 8-2.	Penachos de chimeneas de flotación	35
Figura 9-2.	Penachos de chimeneas de fumigación	35
Figura 10-2.	Esquema de elevación de perfil de concentraciones de un penacho.....	36
Figura 11-2.	Curva de distribución normal Gaussiana.	36
Figura 12-2.	Curva de distribución normal Gaussiana.	37
Figura 1-3.	Formulario principal para calcular la distribución de contaminantes	42
	atmosféricos.	42
Figura 2-3.	Ingreso de Datos Meteorológicos	43
Figura 3-3.	Los dieciséis sectores estándar de 22,5 grados de la.....	46
	dirección del viento.....	46
Figura 4-3.	Determinación de la estabilidad según en función de la rugosidad y ..	50
	la Longitud de Obukov.	50
Figura 5-3.	Ingreso de datos e información general de la fuente.....	52
Figura 6-3.	Ingreso de datos fuente puntual.	52
Figura 7-3.	Ingreso de Emisión de Fuente	52
Figura 8-3.	Receptores de datos en coordenadas cartesianas usados para el.....	53
	monitoreo.	53

ÌNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4.	Datos de temperatura.....	56
Gráfico 2-4 .	Datos de velocidad del viento	56
Gráfico 3-4.	Datos de nubosidad	57
Gráfico 4-4.	Datos de dirección del viento	57
Gráfico 5-4.	Temperatura promedio anual por días.....	60
Gráfico 6-4.	Velocidad del viento anual por días.	60
Gráfico 7-4.	Nubosidad promedio anual por días.....	61
Gráfico 8-4.	Flujo de calor latente promedio anual por días.	61
Gráfico 9-4.	Flujo de calor superficial promedio anual por días.	61
Gráfico 10-4.	Flujo de calor sensible promedio anual por días.....	62
Gráfico 11-4.	Radiación promedio anual por días.....	62
Gráfico 12-4 .	Temperatura promedio anual por horas.	64
Gráfico 13-4.	Velocidad del viento promedio anual por horas.....	64
Gráfico 14-4.	Nubosidad promedio anual por horas	65
Gráfico 15-4.	Flujo de calor latente anual por horas	65
Gráfico 16-4.	Flujo de calor superficial promedio anual por horas.....	66
Gráfico 17-4.	Flujo de calor sensible promedio anual por horas	66
Gráfico 18-4.	Radiación promedio anual por horas.....	67
Gráfico 19-4.	Temperatura promedio mensual.....	69
Gráfico 20-4.	Velocidad del viento promedio mensual	69
Gráfico 21-4.	Nubosidad promedio mensual.....	69
Gráfico 22-4.	Flujo de calor latente promedio mensual	70
Gráfico 23-4.	Flujo de calor superficial promedio mensual.	70
Gráfico 24-4.	Flujo de calor sensible promedio mensual	70
Gráfico 25-4.	Radiación promedio mensual.....	71
Gráfico 26-4.	Radiación promedio por horas	71
Gráfico 27-4.	Resultados de estabilidad extremadamente inestable (A) según.....	72
Gráfico 28-4.	Resultados de estabilidad moderadamente inestable (B) según.....	72
Gráfico 29-4.	Resultados de estabilidad inestable (C) según Pasquill, en función ...	73
Gráfico 30-4.	Resultados de estabilidad neutra o adiabática (D) según Pasquill,	73
Gráfico 31-4.	Resultados de estabilidad estable (E) según Pasquill,.....	74

Gráfico 32-4.	Resultados de estabilidad moderadamente estable (F) según	74
Gráfico 33-4.	Distribución de concentración de contaminantes alrededor.....	75
Gráfico 34-4.	Máximos de concentración alrededor de la fuente.....	76

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación N° 1	Ecuación General de Naiver - Stokes.....	17
Ecuación N° 2	Ecuación General de Naiver - Stokes.....	17
Ecuación N° 3	Ecuación General de Naiver - Stokes	17
Ecuación N° 4	Ecuación General de Naiver - Stokes	17
Ecuación N° 5	Ecuación General de Naiver - Stokes	17
Ecuación N° 6	Ecuación General de Naiver – Stokes.....,	17
Ecuación N° 7	Ecuación General de Naiver - Stokes.....	18
Ecuación N° 8	Ecuación de Energía Turbulenta para Superficies Cerradas.....	18
Ecuación N° 9	Ecuación de Energía Turbulenta para Superficies Cerradas	19
Ecuación N° 10	Número de Richardson.....	19
Ecuación N° 11	Número de Richardson.....	19
Ecuación N° 12	Perfiles y Flujos de la Capa Superficial.....	20
Ecuación N° 13	Perfiles y Flujos de la Capa Superficial.....	20
Ecuación N° 14	Perfiles y Flujos de la Capa Superficial	21
Ecuación N° 15	Perfiles y Flujos de la Capa Superficial	21
Ecuación N° 16	Perfiles y Flujos de la Capa Superficial	22
Ecuación N° 17	Perfiles y Flujos de la Capa Superficial	21
Ecuación N° 18	Ecuación de la difusión.....	37
Ecuación N° 19	Ecuación de Balance de Energía.....	47
Ecuación N° 20	Ecuación de Flujo de Calor Sensible	48
Ecuación N° 21	Ecuación de Flujo de Calor Sensible.....	49
Ecuación N° 22	Ecuación de la Radiación Neta.....	49
Ecuación N° 23	Parametrización de la Ecuación de Flujo de Sensible.....	49

RESUMEN

El objetivo del proyecto de investigación fue aplicar un modelo matemático para determinar la difusión de contaminantes atmosféricos, bajo condiciones físicas y meteorológicas de la ciudad de Riobamba. Se utilizó el modelo matemático Gaussiano que es la técnica mayoritariamente empleado para la estimación de la difusión de contaminantes atmosférico, que permite calcular la concentración de estos contaminantes a nivel del suelo. La determinación de contaminantes atmosféricos se realizó a través de un programa que utiliza este principio ISCLT (Industrial Source Complex Short Time), modelo avalado por la Agencia de Protección de Medio Ambiente estadounidense EPA (*Environmental Protection Agency*) y distribuido gratuitamente, este modelo se emplea para cálculos de concentraciones promedios a nivel del suelo en periodos de tiempos mensuales, trimestrales o anuales, a partir del ingreso de datos de fuente, meteorológicos y condiciones de la zona. Dando como resultado los máximos de concentraciones hacia el Suroeste (SW) de la ciudad de Riobamba, y que fueron comparadas con las normas. Concluyéndose que la dispersión de contaminantes es principalmente hacia el SW, debido a sus condiciones físicas y meteorológicas de la ciudad. Se recomienda utilizar estos datos como base para el control de la calidad del aire en la ciudad de Riobamba.

PALABRAS CLAVES = <MODELO MATEMÁTICO>, <CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS>, <CONDICIONES FÍSICA Y METEREOLÓGICAS>, <MODELO GAUSSIANO>, <PROGRAMA INDUSTRIAL SOURCE COMPLEX SHORT TIME [ISCLT]>,<AGENCIA DE PROTECCIÓN DE MEDIO AMBIENTE ESTADOUNIDENSE [EPA]>, <MÁXIMOS DE CONCENTRACIÓN> <MATEMÁTICA BÁSICA>

ABSTRACT

The purpose of the research was to apply a mathematical model to determine the atmospheric pollutant diffusion under physical and meteorological conditions of Riobamba. For this, it was necessary to use the Gaussian mathematical model that is the same time it allows calculating the concentration of this pollutants at ground level. The determination of atmospheric pollutants was carried out through an ISCLT –based program ISCLT (Industrial Source Complex Short Time), this model is approved by the EPA (*Environmental Protection Agency*) and distributed for free. This model is used for calculating average concentrations at ground level in monthly, quarterly and annual periods from the reception of source meteorological data and conditions in the area. The results are: maximum concentrations in the south west part of Riobamba, this concentrations were compared with the existing norms. It is concluded that the spread of pollutants is principally directed towards the south west due to the physical and meteorological conditions of the city. It is recommended to use these data as a base for controlling the air quality in Riobamba.

KEY WORDS= <MATHEMATICAL MODEL>,< ATMOSPHERIC POLLUTANTS>, < PHYSICAL AND METEOROLOGICAL CONDITIONS>,< GAUSSIAN MODEL>,< INDUSTRIAL SOURCE COMPLEX SHORT TIME [ISCLT]>,< AGENDA FOR PROTECTION OF THE UNITED STATES ENVIRONMENT [EPA] >,<MAXIMUN CONCENTRATION>,< BASIC MATHEMATICS

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La contaminación atmosférica ha sido uno de los grandes problemas para todos los seres vivos que habitan el planeta, perjudicando el desarrollo y la calidad de vida de los mismos, este problema se ha ido intensificando aún más desde el desarrollo de la revolución industrial y en la cual se ha utilizado varias fuentes de energía, desde la utilización del carbono a los combustibles fósiles o hidrocarburos.

En nuestro país en el Ecuador y especialmente en nuestra ciudad no está libre de este tipo de contaminación, debido al crecimiento poblacional, y por ende el aumento del sector automotor, siendo esta la fuente principal de la contaminación atmosférica.

También, la existencia de algunas empresas industriales de la ciudad, así como la erupción del volcán Tungurahua que es una fuente natural de contaminación, que afectado mucho por la caída de la ceniza volcánica, en la cuales también hay que tomar en cuenta la topografía y las condiciones meteorológicas.

En la ciudad de Riobamba se han realizado algunos estudios sobre algunos contaminantes atmosféricos, SO_x , PM_{10} , NO_x , BTX, sólidos sedimentables, pero no cuenta con un sistema integrado de monitoreo de calidad del aire como tiene las grandes ciudades del país como Quito y Cuenca, una de las principales causas son los altos costos que conllevan estos sistema.

La utilización de modelos matemáticos es una de las alternativas o herramientas de menor costo, y en la cual se puede estudiar a fondo el comportamiento de la dinámica atmosférica, la difusión, y la transformación química; con lo que se espera obtener una estimación de la concentración de los contaminantes atmosféricos dentro del sector de estudio en la cuales hay que tomar en cuenta la topografía y las condiciones meteorológicas que la ciudad tiene.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la difusión de contaminantes atmosféricos, bajo condiciones físicas y meteorológicas de la ciudad de Riobamba usando un modelo matemático?

1.3. Sistematización del problema

¿Cómo influyen las condiciones físicas y meteorológicas en la difusión de los contaminantes atmosféricos?

¿Cuáles son las condiciones físicas y meteorológicas que influyen significativamente en la difusión de contaminantes atmosféricos?

¿Cómo determinar la difusión de contaminantes atmosféricos usando modelos matemáticos?

1.4. Objetivos

1.4.1 *General*

Aplicar un modelo matemático para la determinación de la difusión de contaminantes atmosféricos, bajo condiciones físicas y meteorológicas de la ciudad de Riobamba.

1.4.2 *Específicos*

- Caracterizar las condiciones meteorológicas en la ciudad de Riobamba.

- Modelar matemáticamente, las condiciones de estabilidad atmosférica de la ciudad de Riobamba.
- Modelar la difusión de contaminantes atmosféricos, usando el modelo Gaussiano, para la determinación estimada de concentraciones.

1.5. Justificación

La contaminación atmosférica ha sido un gran problema, para todos los seres vivos dificultando así el desarrollo de su calidad de vida, solo en las últimas décadas se ha tomado conciencia de este tipo de problema, especialmente en las grandes ciudades como es el caso de Londres ya que en 1955, se produjo un accidente donde murieron 4.000 personas, a causa de la denominada niebla tóxica, por lo cual se dio inicio a la formulación de normativas o leyes en el Reino Unido.

Así en todo el mundo se ha tomado conciencia sobre este problema, buscando varias alternativas como son redes de control de calidad del aire, en donde incluye los monitoreos, con métodos pasivos o activos de contaminantes atmosféricos, que en algunos casos suelen ser costosos, la modelación matemática es una herramienta que usa técnicas analíticas o numéricas, que nos permite determinar el comportamiento de los contaminantes en la atmósfera y como se difunden en el espacio y tiempo, ayudando a establecer normas o leyes que sirven para mitigar estos problemas que aquejan a todos los seres vivos.

La ciudad de Riobamba no está exenta de este problema y más aún cuando está afectada por las emisiones de partículas y gases del volcán Tungurahua, que se ve agravado por el gran número de vehículos que aproximadamente es de 40.000, que circulan por la ciudad y las industrias que se encuentran dentro del perímetro urbano, sin una planificación adecuada que minimice su impacto en el ambiente.

Lo cual sin duda alguna afectan la calidad del aire, por lo que es necesario realizar investigaciones que permitan conocer la calidad del aire de la ciudad, siendo la

modelación matemática un método ampliamente utilizado en los países desarrollados, por los resultados que se obtiene y los costos relativamente bajos de su aplicación, se adaptarían perfectamente en la ciudad de Riobamba y permitiría aportar con la solución a este problema beneficiando a todos los habitantes que en el viven.

1.6. Viabilidad

Se cuenta con información necesaria de datos meteorológicos, de procesos similares en modelación matemática de contaminantes atmosféricos, sobre todo se cuenta con material bibliográfico sobre el tema para poder realizar el estudio.

1.7. Marco hipotético

1.7.1 Hipótesis

La aplicación de un modelo matemático, bajo condiciones físicas y meteorológicas de la ciudad de Riobamba, determina la difusión de contaminantes atmosféricos.

1.7.2. *Operacionalización de las variables*

Tabla 1-1. Operacionalización conceptual de las variables

Variable	Concepto
Variable Dependiente: ✓ Difusión de contaminantes.	✓ Propagación de sustancias físicas o químicas, nocivas en la atmósfera.
Variable Independiente: ✓ Modelación matemática. ✓ Condiciones físicas y meteorológicas.	✓ Los modelos de dispersión de calidad del aire consisten en un grupo de ecuaciones matemáticas que sirven para determinar y predecir las concentraciones de contaminantes atmosféricos en el espacio y tiempo. ✓ Las condiciones físicas y meteorológicas, son parámetros que determinan la dinámica atmosférica.

Realizado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

Tabla 2-1. Operacionalización metodológica de las variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Ítems Básicos
Variable dependiente: ✓ Difusión de contaminante.	Difusión de contaminantes atmosféricos	Concentración de contaminantes en el espacio y tiempo.	Procesamiento y Cálculo de datos.	¿Cómo se distribuyen los contaminantes en el espacio y tiempo?
Variable independiente: ✓ Modelación matemática. ✓ Condiciones físicas y meteorológicas.	✓ Modelos matemáticos. ✓ Datos meteorológicos	Ecuaciones de dispersión de contaminantes. Temperatura Presión Velocidad del Viento. Dirección del viento. Radiación solar Precipitación. Humedad. Altura con respecto al nivel del mar. Posición geográfica	Procesamiento y Cálculo de datos. Observación y recopilación de la información.	¿Qué modelo se adapta a las condiciones físicas y meteorológicas de la ciudad de Riobamba? ¿Cómo influyen las condiciones meteorológicas y de fuente?

Realizado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Atmósfera

La atmósfera es la capa delgada gaseosa que cubre la Tierra tiene de una densidad baja y es el límite entre la superficie terrestre y espacio exterior que conforma el universo, al principio la composición y la estructura de la atmósfera no era la misma como la conocemos actualmente, ha sufrido cambios evolucionando a través de millones de años, todo esto se debió a lentos procesos químicos, físicos, de nuestro planeta.

Transformando los gases que lo componen hoy, teóricamente la atmósfera estaba compuesta en su mayor parte de He (Helio) y H (Hidrógeno), y los gases producidos por las emanaciones volcánicas como es CO_2 , SO_2 , en donde por las condiciones climatológicas de entonces, como las altas temperaturas y su gravedad baja hizo que la mayor parte de estos gases salieran del planeta al espacio.

La parte que quedaba reaccionará con otros elementos como es el O que no existía en grandes cantidades, C, N, formando así metano CH_4 (gas), amoníaco NH_3 (gas) y vapor de agua H_2O (gas), siendo estos gases todavía densos para asentarse en el planeta pero son los primeros componentes de carácter reductor que sirvieron para la formación y desarrollo de la atmósfera.

Con las bajas temperaturas y la condensación del vapor de agua se forman los primeros océanos en donde se desarrollaron las primeras formas de vida, adaptándose las bacterias anaeróbicas y otras bacterias fotosintéticas, aprovechando de la existencia de CO_2 , N_2 , transformaron estos gases y liberando O (Oxígeno), disminuyendo el CO_2 (Anhídrido Carbónico) y N_2 (Nitrógeno), siendo así capaces de realizar el proceso de la fotosíntesis.

En este proceso también se fue formando el ozono, es una molécula de O_2 (Oxígenogaseoso) más un átomo de oxígeno liberado que se forma al disociarse los dos átomos del gas de oxígeno, creándose la capa de ozono y el cual se ubica en lo alto de

la Tierra por su baja densidad, ayudando a proteger la superficie terrestre de los rayos UV provenientes del Sol.

Con todos estos procesos se fue transformando la atmósfera en nubes produciendo las lluvias y formando la Hidrosfera, siendo el planeta habitable para todos los seres vivos. En la Figura 1-2 se indica los diferentes tipos de atmósfera que han ido evolucionando.

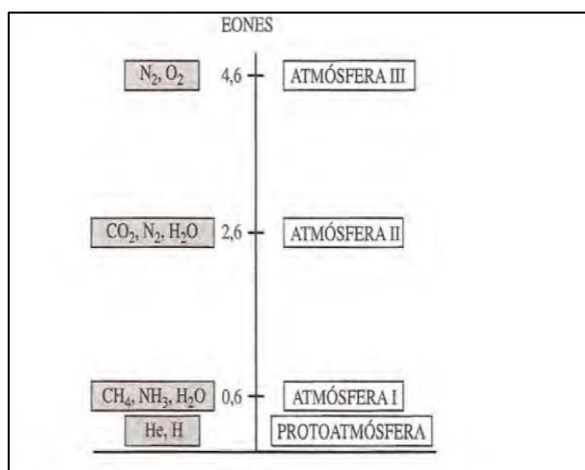


Figura 1-2. Esquema de la evolución de la atmósfera
Fuente: (Química Física del Ambiente y de los Procesos Medioambientales).

2.2. Composición de la atmósfera

La atmósfera está compuesta por algunos gases la unión de estos gases forman el aire, el porcentaje de sus concentraciones no varían mucho en las cercanías de la superficie terrestre en el siguiente cuadro se detalla la composición media del aire seco a nivel del mar, sin partículas de vapor de agua y líquidas.

Tabla 1-2. Composición del aire seco a nivel del mar

Componente	% en volumen	Componente	% en volumen
N ₂	78,085	Kr	0,00011
O ₂	20,946	H ₂	0,000058
Ar	0,934	N ₂ O	0,000031
CO ₂	0,0314	CO	0,00001
Ne	0,00182	Xe	$8,7 \times 10^{-6}$
He	0,000524	O ₃	$(1-50) \times 10^{-6}$
CH ₄	0,00015	NH ₃	$(0,01-1) \times 10^{-7}$

Fuente: (Química Física del Ambiente y de los Procesos Medioambientales).

El Nitrógeno y el oxígeno son los componentes de mayor porcentaje que ocupa el volumen del aire que respiramos, el Nitrógeno es un elemento inerte no reactivo, mientras que el Oxígeno es altamente reactivo es el responsable de los procesos de oxidación se disuelve en el agua y hace que los combustibles se quemen fácilmente.

Existen otros componentes en menor porcentaje que conforman la composición de la atmósfera que no se ha incluido en esta tabla como es el Vapor de agua ya que su concentraciones muy variable disminuyendo en la altura, y concentrándose en las partes bajas formándose las nubes, siendo un regulador térmico también es responsable de los fenómenos meteorológicos que se dan en la biosfera.

El CO₂ tiene un papel fundamental en los procesos de la fotosíntesis como también en el calentamiento de la tierra con el efecto invernadero.

El Ozono que se encuentra en mayor concentración en la parte alta de la atmósfera formando una capa protectora contra los rayos UV emitidos directamente del Sol actúa absorbiéndoles, sin esta capa protectora la vida en la Tierra no sería posible.

2.3 Estructura de la atmósfera

La atmósfera está formada de varias capas que varían con la presión, la altura y la temperatura como se observa en la figura 2-2.

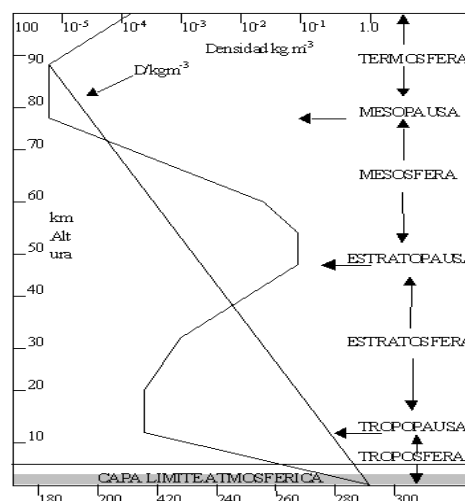


Figura 2-2. Capas atmosféricas

Fuente: (Química Física del Ambiente y de los Procesos Medioambientales).

a) Tropósfera

Es la capa donde se desarrolla todas las actividades de los seres vivos y en donde se encuentran toda clase de fuentes de contaminantes atmosféricos, ya que se encuentra cerca de la superficie terrestre por esta razón es la que sufre los efectos de contaminación originados por el hombre concentrándose la mayor parte de los contaminantes atmosféricos.

En esta capa se produce algunos fenómenos meteorológicos como son los vientos y debido a la condensación del vapor de agua en esta capa se forman las nubes originando las lluvias, el espesor de la capa es de unos 15 Km aproximadamente, esta capa se calienta por el calor que irradia la superficie terrestre, y su temperatura disminuye con la altura a $6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por Km, hasta llegar a -70°C , su límite superior está separado por una capa llamada Tropopausa

b) Estratósfera

Esta capa se extiende desde los 15Km hasta los 50 Km, la temperatura de esta parte de la atmósfera aumenta hasta alcanzar unos $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta llegar a un punto de inversión en esta capa se encuentra la mayor parte de concentración de Ozono O_3 formando la capa llamada Ozonósfera absorbiendo los rayos UV sin la existencia de esta capa no sería posible el desarrollo de la vida de todos los seres vivos que habitan la Tierra, terminando en la Estratopausa.

c) Mesosfera

Es la capa que le sigue a Estratopausa se extiende desde los 50 Km hasta los 80 Km, aquí la atmósfera disminuye la temperatura de unos $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la estratopausa y unos $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la Mesopausa.

d) Termosfera

Se extiende hasta unos 200Km, aquí los átomos y moléculas tienen carga eléctrica llamados iones esto se debe a la absorción de radiaciones solares de alta energía (rayos x, gama y UV) llegando a tener una temperatura alta de 1500 °C, una de las propiedades que tiene esta capa es que puede reflejar las ondas electromagnéticas haciendo posible la transmisión de la televisión y radio.

2.4 Capa límite atmosférica

La Tropósfera se divide en dos capas la primera es la capa límite atmosférica que aproximadamente ocupa 1 Km de distancia y la otra capa es la troposfera libre.

La capa límite atmosférica es nuestro principal objetivo de estudio ya que en los primeros metros se genera la interacción aire- suelo, en esta capa se encuentran asentados las fuentes de contaminantes atmosféricos, para el estudio de la concentración de los contaminantes, es muy importante tomar en cuenta la dinámica atmosférica superficial en la cual influye las fuerzas de fricción que son resultado del perfil de temperatura y las características de la superficie terrestre, es decir que las masas de aire se mueven por la fuerza de rozamiento con la superficie y recorre por difusión turbulenta

Todo esto ocurre por varios componentes como es los térmicos y mecánicos, la inestabilidad atmosférica determina el grado de turbulencia las dimensiones de la capa límite varían o depende de las condiciones climatológicas o de la hora del día.

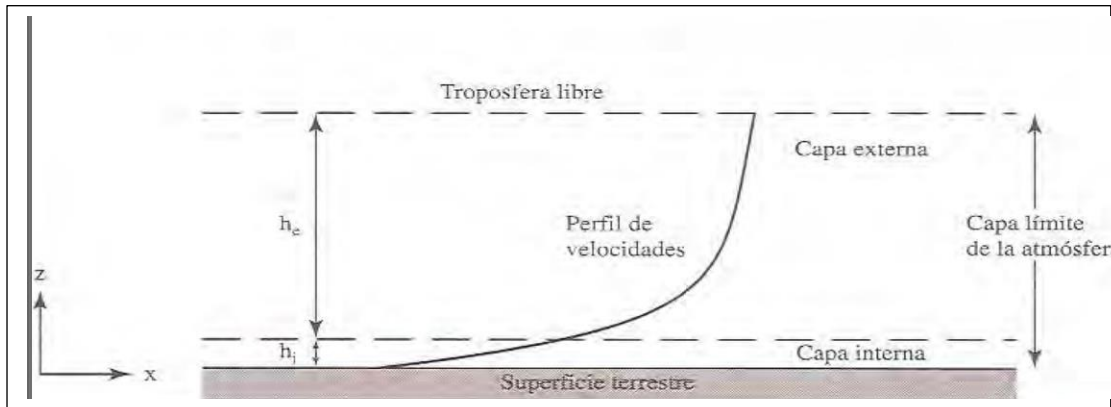


Figura 3-2. Representación esquemática de la capa límite adaptada de (Thibodeaux, 1996).

Fuente: (Química Física del Ambiente y de los Procesos Medioambientales).

2.5 Dinámica atmosférica

La mayor parte de los fenómenos de la atmósfera se desenvuelven en la tropósfera y particularmente en la capa límite atmosférico, en donde se llevan a cabo procesos dinámicos importantes. Estos procesos dinámicos se dan debido al desarrollo de la turbulencia mecánica en primera instancia, la cual se relaciona con el rozamiento del viento con la superficie sólida y en una segunda instancia por el desarrollo de la turbulencia convectiva, producida por el flujo de calor entre el suelo y el aire, que se produce por el calentamiento del suelo en las horas del día.

La estabilidad atmosférica se relaciona con la dinámica del sistema atmósfera, y puede analizarse a través de ciertos parámetros.

Entre los parámetros más influyentes tenemos los efectos convectivos y mecánicos que dependen de las condiciones climáticas y físicas de la atmósfera, que se podría resumir de la siguiente forma:

✓ **Turbulencia atmosférica:**

- Turbulencia convectiva
- Grado de nubosidad
- Balance de radiación
- Gradiente de temperatura

✓ **Turbulencia mecánica:**

- Rugosidad superficial
- Viento transversal

La mayor parte de procesos que ocurren en la atmósfera, se sabe que son de carácter turbulento, es decir un sistema no lineal, que no responde a las ecuaciones dinámicas planteadas en la física clásica, las cuales describen esencialmente sistemas lineales, razón por lo que se han realizado una serie de aproximaciones (modelos) que permiten describir con cierta aproximación la dinámica de la atmósfera.

La turbulencia atmosférica difiere en dos caminos:

- Por el calor de convección que coexiste con la turbulencia mecánica.
- Por el transporte turbulento, que está modelado por transportes moleculares semejantes, y es asumido por ser proporcional a la propiedad del gradiente de gran escala.

El coeficiente de proporcionalidad, denotado por K (coeficiente de Austausch o coeficiente de cambio), en donde los remolinos viscosos son usados por el movimiento del flujo turbulento y los remolinos de conductividad por el flujo de calor.

2.6 Propiedades y características de los movimientos atmosféricos

Tomando en cuenta muchas facetas de movimiento atmosférico por la no linealidad de sus flujos. Se dividen los movimientos de la atmósfera en tres grupos.

Movimientos macro escala.- Son aquellos movimientos realizados por la red sinóptica observada en los mapas de tiempo.

Movimientos mezo escala.- Sucede en longitudes horizontales de 10 a 500 Km., incluyendo fenómenos como: Brisas de mar, sistemas de viento montaña-valle.

Movimientos micro escala.- Son aquellos de pequeña escala que estudian la parte turbulenta del flujo atmosférico.

Los movimientos de micro escala aparecen cerca de la superficie de la tierra, que es donde se localizan los seres humanos y sus actividades, de los cuales tenemos más información. El calor que viene del sol es recibido por la superficie terrestre y transportada por el aire hacia arriba a través de flujos turbulentos de calor sensible o latente.

La altura de la capa de mezcla o límite es la región turbulenta próxima a la tierra se tiene en condiciones neutrales cuando (la temperatura disminuye hacia arriba en la razón isotrópica), el cual aparece por ejemplo con vientos fuertes en noches o días nublados, dependiendo del viento y los terrenos rugosos; las condiciones inestables aparecen típicamente en días soleados, donde la turbulencia mecánica decrece rápidamente con la altura llegando a ser proporcionales a los vientos transversales verticales; mientras que el calor de convección varía lentamente con la altura; y las condiciones estables en las noches con vientos débiles.

2.7 Parámetros meteorológicos

Temperatura.- Es la diferencia de calor que el aire absorbe, este efecto se debe a la intensidad de radiación solar, la temperatura se determina mediante promedios de temperaturas medias que pueden ser diarias, mensuales, anuales, también se puede determinar la oscilación o amplitud térmica, que es la diferencia entre el mes más frío y el mes más cálido de un lugar.

Viento.- Se produce por las diferencias de temperatura que se da en el aire en un lugar determinado, es decir cuando el aire caliente se choca con el aire frío generando movimientos de masas de aire que se pueden clasificar en diferentes escalas. Es uno de

los parámetros muy importante en el estudio de la difusión de contaminantes atmosféricos ya que dependen mucho de las siguientes características:

- ✓ **Velocidad del viento.**-Es con qué rapidez se mueve el aire en la distancia de un espacio, la velocidad del viento se mide con el anemómetro tiene varias categorías y se clasifican según la escala de Beaufort, este parámetro es muy importante en la determinación de la difusión de contaminantes atmosféricos ya que nos indica a qué velocidad se difunde los contaminantes en el espacio.
- ✓ **Dirección del viento.**-Es el lugar hacia donde sopla el viento, se mide en estaciones meteorológicas con veletas y también se le puede representar mediante un diagrama llamado “Rosa de los Vientos”, para distinguir a que dirección se mueve el aire se utiliza los puntos cardinales siendo los cuatro principales son: Norte (N), Sur (S), Este (E), Oeste (W), y los intermedios son: Norte Noreste (NNE), Este Nordeste (ENE), Este Sudeste (ESE), Sur Sudeste (SSE), Sur Sudoeste (SSW), Oeste Sudeste (WSE), Oeste Noroeste (WNW), Norte Noroeste (NNW).

Radiación solar.- Son ondas electro magnéticas emitidas por el Sol son una fuente de energía necesaria para la Tierra ya que influyen en el calentamiento del aire y por lo cual varía la temperatura de la atmósfera, su unidad es KW/m^2 , existen tres tipos de radiación esto depende de cómo inciden los rayos emitidos por el Sol sobre la Tierra.

- ✓ **Radiación Directa:** Se recibe directamente del Sol sin ningún tipo de desviación o descomposición al pasar por la atmósfera hacia la superficie de la Tierra.
- ✓ **Radiación Difusa:** Se refleja sobre la atmósfera terrestre haciendo que esta se desvíe y cambie su dirección y no pase directamente a la superficie.
- ✓ **Radiación Reflejada:** Es la que se recibe directamente en la superficie terrestre o suelo.










Presión atmosférica.- La presión del aire se mide con el barómetro, que determina el peso de las masas de aire por cm^2 , se mide en milibares y se considera un nivel de presión normal el equivalente a 1.013 mbs. La presión varía con la altura y también con la temperatura.

Humedad.-La humedad de las masas de aire se mide con el higrómetro, que establece el contenido en vapor de agua. Si marca el 100%, el aire ha llegado al máximo nivel de saturación; más del 50% se considera el aire húmedo y menos del 50% se considera aire seco.

Nubosidad.- Está formado por las nubes que a la vez están formadas por partículas de agua finas que son líquidas o sólidas y que se encuentran suspendidas en el aire, cuando aumentan el volumen se precipitan al suelo en forma de lluvia.

Este proceso se da cuando una masa de aire húmeda se enfría, las masas de aire caliente que se encuentran en la superficie al subir y con la altura estas masas se enfrían dando lugar a diferentes tipos de nubes se expresa en Octas u Octavas esto se hace observando la extensión del cielo, en la siguiente tabla se explica cómo se determina la nubosidad.

Tabla 2-2. Determinación de la nubosidad

Símbolo	Extensión cielo cubierto	Extensión cielo cubierto
	0/8	Despejado
	1/8	Poco nuboso
	2/8	Poco nuboso
	3/8	Poco nuboso
	4/8	Nuboso
	5/8	Nuboso
	6/8	Muy nuboso
	7/8	Muy nuboso
	8/8	Cubierto

Fuente:<http://www.euskalmet.euskadi.eus/s07-5893/eu/contenidos>

[/informacion/cli_2005/eu_14996/adjuntos/capitulo04.pdf](#)

2.8 Variables y ecuaciones simplificadas del estado de la atmosfera

Para este propósito, podemos describir el estado de la atmósfera por siete variables: P , presión; ρ , densidad; T , temperatura; q , humedad específica (% de humedad por masa), y el vector velocidad u con las componentes $u_i, i = 1, 2, 3$.

La ecuación más importante es la de *Navier – Stokes*, que se aplica a pequeña escala (gran escala molecular), en práctica es del orden de 1 mm.

En contraste necesitamos aplicar la ecuación para varias variables de gran escala, el cual se puede leer en mapas de tiempo, tales variables son promediadas de una hora o sobre distancias horizontales del orden de unos pocos cientos de kilómetros.

Físicamente las cantidades de gran escala, tal como, temperatura, nubosidad pueden ser combinadas con las de pequeña escala a través del límite.

Asumiendo que los movimientos de gran escala y de pequeña escala no están en relación, entonces la aproximación de Boussinesq, tiene la forma usual de las siete ecuaciones básicas escalares con las siete incógnitas para movimientos de gran escala

Partiendo de la ecuación general de Navier -Stokes se tiene:

$$\frac{d\bar{u}}{dt} = f\bar{v} - \frac{1}{\bar{\rho}} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{u'w'}}{\partial z} \quad \text{Ecuación N° 1}$$

$$\frac{d\bar{v}}{dt} = -f\bar{u} - \frac{1}{\bar{\rho}} \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} - \frac{\partial \overline{v'w'}}{\partial z} \quad \text{Ecuación N° 2}$$

$$\frac{d\bar{w}}{dt} = -g - \frac{1}{\bar{\rho}} \frac{\partial \bar{p}}{\partial z} \quad \text{Ecuación N°3}$$

$$\frac{d\bar{T}}{dt} = -\bar{w}\gamma_d - \frac{\partial \overline{w'T'}}{\partial z} + S_R + S_L \quad \text{Ecuación N°4}$$

$$\frac{d\bar{q}}{dt} = \frac{\partial \overline{w'q'}}{\partial z} + S_q \quad \text{Ecuación N°5}$$

$$\bar{p} = \bar{\rho} R \bar{T} (1 + 0.61 \bar{q}) \quad \text{Ecuación N°6}$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0$$

Ecuación N° 7

Con las siete variables $\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}, \bar{q}, \bar{p}, \bar{\rho}$, y \bar{T} la ecuación de *Navier-Stokes* se descompone en tres componentes para diferentes aproximaciones, en estas ecuaciones, $f = 2\Omega \sin \phi$ es el parámetro de Coriolis (Ω , velocidad angular de la tierra; ϕ , latitud); γ_d es la razón adiabática seca, cercano a 9.8C/Km R es la constante de los gases para el aire seco; S_R describe los efectos de radiación electromagnética sobre la temperatura, S_L describe los cambios de temperatura por efectos de calor latente, y S_q representa los efectos de evaporación y condensación en el cambio de humedad.

Las aproximaciones son válidas cuando u', v', w' son del mismo orden de magnitud, a condición de que los gradientes verticales sean más grandes que los gradientes horizontales.

2.9 Turbulencia energética simplificada a macroescala

Considerando la ecuación de energía cinética para la turbulencia podemos predecir fluctuaciones estáticas desde variables accesibles, una ecuación de energía turbulenta para superficies cerradas es:

$$\frac{d\bar{e}}{dt} = -\overline{u'w'} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} - \overline{v'w'} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} + g \frac{\overline{w'T'}}{\bar{T}} \left(1 + \frac{0.07}{B} \right) - \frac{1}{\bar{\rho}} \frac{\partial \overline{w'p'}}{\partial z} - \frac{\partial \overline{ew'}}{\partial z} - \varepsilon \quad \text{Ecuación N° 8}$$

La ecuación N° 8 es válido solo si comparamos gradientes horizontales con gradientes verticales, y si w' es del mismo orden de magnitud de u' y v' .

La cantidad ε representa la disipación irreversible de energía cinética en energía térmica.

El factor $(1 + 0.07/B)$ se agregará para asignar la posibilidad de energía convectiva cuando la velocidad del aire crece este es más húmedo que en sus alrededores. B es la relación de Bowen para flujo de calor sensible o latente en la superficie.

En regiones tropicales, B puede llegar a ser bastante pequeño. Para prácticas, B cerca de la tierra puede ser determinado desde una expresión aproximada.

$$B = \frac{c_p (\bar{T}_2 - \bar{T}_1)}{L (\bar{q}_2 - \bar{q}_1)} \quad \text{Ecuación N° 9}$$

La ecuación (2.10) es usada para definir el número de flujo de *Richardson*, Rf como la razón del porcentaje de destrucción de la turbulencia por estratificación estable, $-g(\overline{w'T'/T})(1 + 0.07/B)$ y la razón de creación de la turbulencia por corte, $-\overline{u'w'}(\partial\bar{u}/\partial z) - \overline{v'w'}(\partial\bar{v}/\partial z)$.

El número de *Richardson* será negativo si el flujo de calor es ascendente (condiciones inestables) y positivo cuando el flujo de calor es descendente (condiciones estables); *Rf* es cero cuando no existe flujo de calor, pero se creara solo turbulencia mecánica. Se toma el valor absoluto de Rf para indicar la importancia de la convección para turbulencia mecánica.

En práctica, Rf no se mide. En lugar de ello utilizaremos, los gradientes del número de Richardson, Ri, el cual está relacionado con Rf por:

$$Ri = \frac{K_m}{K_h} Rf \quad \text{Ecuación N°10}$$

Donde K_m y K_h son los remolinos de viscosidad y remolinos de conductividad respectivamente. Es suficiente ver que K_m / K_h es creciente para condiciones estables, decrece para condiciones inestables, se aproxima a cero a una altura del orden de 50 m.

Cualitativamente, Ri tiene ventaja sobre Rf porque este puede ser calculado desde cantidades promedias por la siguiente ecuación:

$$Ri = \frac{\frac{g}{T}(\gamma_d - \gamma)}{\left(\frac{\partial\bar{u}}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial\bar{v}}{\partial z}\right)^2} \left(1 + \frac{0.07}{B}\right) \quad \text{Ecuación N°11}$$

Precisamente, los números $-R_f$, $-R_i$ puede ser tomado para representar la relación de convección para la turbulencia mecánica.

Los números negativos de *Richardson* de gran valor numérico indican convección fuerte, turbulencia mecánica débil. Los números negativos de *Richardson* con pequeños valores numéricos indican turbulencia mecánica fuerte, y los números ceros de *Richardson* implican turbulencia mecánica.

Cuando los R_i excede de $R_{i_{crit}}$, la turbulencia desaparece, la estratificación predomina o vence la producción por efectos del viento transversal.

Para grandes perturbaciones (flujos sobre montañas) el aire probablemente puede ser turbulento para número grandes de *Richardson*.

2.10 Perfiles y flujos en la capa superficial

La estructura de las variables atmosféricas es relativamente simple en la capa superficial de terrenos uniformes, esencialmente porque la fuerza de *Reynolds* puede ser tratada como constantes aunque disminuye lentamente con la altura, la dirección del viento es aproximadamente constante con la altura en la capa superficial.

La turbulencia tiene igual transferencia de momentum horizontal en cualquier dirección como:

$$\tau_x = K_m \rho \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \quad \text{Ecuación N°12}$$

$$\tau_y = K_m \rho \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \quad \text{Ecuación N°13}$$

Donde τ_x y τ_y representa las componentes de la fuerza de Reynolds en las direcciones x i y , como K_m es el escalar de los remolinos viscosos.

Entonces la dirección de x no solo es la dirección del viento, también es de la fuerza superficial, el cual ahora es tomado como un escalar y denotado por τ . La velocidad de fricción del viento para terrenos homogéneos es definido por $u_* = (\tau / \rho)^{1/2}$.

Al evaluar con valores superficiales de la fuerza y densidad siempre es independiente de la altura. Observaciones de turbulencia mecánica muestran que u_* es aproximado a $0.8\delta_w$, δ_w es la desviación estándar de la velocidad vertical.

La variación de u con la altura es llamado perfil del viento, el perfil del viento se deriva de la teoría K , pero teorías más sofisticadas dan el mismo resultado cuando $\tau_x = \tau$, tal como:

$$\tau = K_m \rho \frac{\partial u}{\partial z} \quad \text{Ecuación N°14}$$

K_m , es tomado por ser proporcional al producto del tamaño y velocidad del remolino.

Asumimos que el tamaño del remolino es proporcional a la altura z , y la velocidad del remolino es proporcional a u_* , así:

$$K_m = k_a u_* z \quad \text{Ecuación N°15}$$

Si la superficie es rugosa, el momentum es transferido a la superficie por la diferencia de presión de los elementos rugosos. Entonces K_m no desaparece al aproximar a la superficie, la ecuación sugiere que se debe definir otro nivel con $z = 0$ que será la superficie, luego z_0 será la altura a la que $u(z)$ desaparece y solo considera alturas $z > z_0$. Así, el valor superficial de K_m se obtiene como:

$$K_m = k_a u_* z_0 \quad \text{Ecuación N°16}$$

Mientras más rugosa sea la tierra más grandes serán los remolinos, así z_0 es una medida de la superficie rugosa, ésta es llamada longitud rugosa y está determinada por medidas del perfil del viento

El factor de proporcionalidad k_a es la constante de Karman.

Medir k_a en la atmósfera es dificultoso porque requerimos de una estimación exacta de la fuerza de Reynolds; valores medidos en la atmósfera y túneles de viento que varían de 0.35 a 0.43. Tomando $k_a = 0.4$ para nuestro uso. Sustituyendo y utilizando

$u_* = (\tau / \rho)^{1/2}$ se tiene:

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{u_*}{k_a z} \quad \text{Ecuación N°17}$$

Que indica la variación de la velocidad del viento con la altura, en este tipo de sistemas turbulentos.

2.11 Estabilidad atmosférica

La estabilidad atmosférica está relacionada con la temperatura y la altura, formando la gradiente de temperatura ambiental que es la velocidad en que la temperatura baja, esto se debe que mientras la masa de aire sube con la altura baja su temperatura, la gradiente de temperatura se mide con un globo adherido con un termómetro mide la temperatura en forma ascendente y se la conoce como gradiente de temperatura ambiental.

El gradiente de temperatura de referencia que se hiciera anteriormente se compara el gradiente de temperatura ambiental es el gradiente de temperatura seca adiabática es decir sin pérdida ni ganancias de calor.

Bajo condiciones adiabáticas, un volumen templado de aire ascendente se comporta como un globo.

Se expandirá hasta que su densidad se iguale con la del aire circundante.

El aire seco se expande a una velocidad de 9.8 Grados Centígrados por cada 100 metros de altura.

2.11.1 *Clases de Estabilidad Atmosférica relacionadas con los gradientes de Temperatura.*

La estabilidad atmosférica se clasifican en:

Estabilidad Neutra: Es cuando la parcela es desplazada adiabáticamente, tanto la temperatura como la densidad serán igual al de las parcelas circundantes, por la cual se encuentra en equilibrio.

Estabilidad Atmosférica Inestable: Existe una mayor turbulencia térmica esto se debe a que la gradiente de temperatura seca adiabática es menor a la gradiente de temperatura ambiental, es decir la velocidad en que baja la temperatura ambiente ascendente es mayor a 1°C por cada 100m.

Estabilidad Atmosférica Estable: Existe una menor turbulencia térmica esto se debe a que la gradiente de temperatura seca adiabática es mayor a la gradiente de temperatura ambiental, es decir la velocidad en que baja la temperatura ambiente ascendente es menor a 1°C por cada 100m.

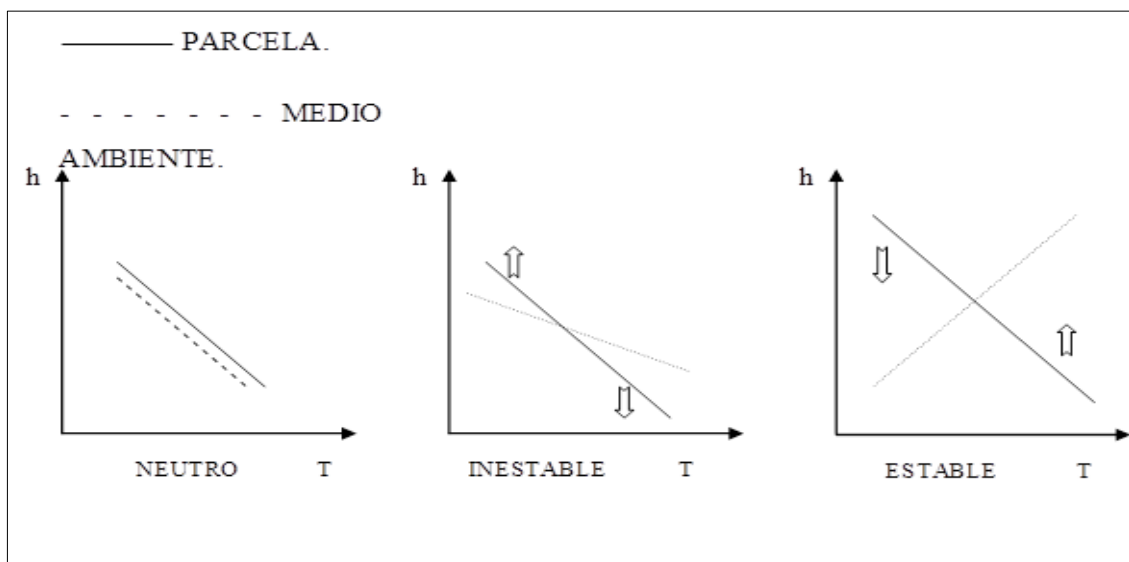


Figura 4-2. Clases de Estabilidad Atmosférico

Fuente: http://www.euskalmet.euskadi.eus/s075893/eu/contenidos/informacion/cli_2005/eu_14996/adjuntos/capitulo04.pdf

Según Pasquill la clase de Estabilidad Atmosférica se viene determinada por la cantidad de insolación o radiación solar, la humedad, las inversiones nocturnas y la velocidad del viento (un fuerte viento produce estabilidad vertical).

Tabla 3-2. Categorías de estabilidad Pasquill

Categoría de la estabilidad	Definición
A	Altamente estable.
B	Inestable.
C	Ligeramente inestable
D	Neutral
E	Ligeramente estable
F	Estable

Fuente: Ingeniería Ambiental Fundamentos, entornos, tecnologías, y sistemas de gestión pag. 498.

Tabla 4-2. Clases de estabilidad Pasquill

Viento superficie (a 10 m)/ms ⁻¹	Día			Noche, o nublado	
	Radiación solar			nubes ≥ 4/8	nubes < 3/8
	Fuerte	Moderado	Débil		
0-2	A	A-B	B	-	-
3-4	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
≥ 6	C	D	D	D	D

Fuente: Ingeniería Ambiental Fundamentos, entornos, tecnologías, y sistemas de gestión pag. 499.

2.12 Contaminación atmosférica

Contaminación atmosférica es la presencia de agentes ajenos como sustancias y energía, que se encuentran en altas concentraciones de lo natural que pueden producir y alterar cambios en su estructura, composición química y física causando la inestabilidad y daño en la calidad de vida de todos los seres vivos.

2.12.1 Origen y fuentes de la contaminación atmosférica

Los contaminantes atmosféricos proceden de dos orígenes:

- ✓ **Naturales:** Son aquellos producidos por los procesos netamente ocasionados por la naturaleza.

Las fuentes Naturales provienen de las erupciones volcánicas, incendios forestales no causadas por el hombre y descomposición de la materia orgánica que se producen en los océanos y suelos.

- ✓ **Antropogénicos:** Son directamente producidos por las actividades del hombre.

2.12.2 Fuentes de contaminación atmosférica

Los Antropogénicos se dividen en varias fuentes o focos.

FUENTES FIJAS:

- ✓ Industriales
- ✓ Domésticas

FUENTES MÓVILES:

- ✓ Automóviles
- ✓ Aviones

Fuentes Móviles: Los contaminantes atmosféricos se trasladan de un lugar a otro y en lo general son desplazados por un medio de transporte en este caso son **emitidos por los vehículos o automóviles, aviones**, en las últimas décadas, el automóvil ha aparecido de forma masiva en las ciudades, contribuyendo a incrementar los problemas de contaminación atmosférica como consecuencia de los gases contaminantes que se emiten por los tubos de escape. Los principales contaminantes emitidos por los automóviles son: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos no quemados (HC), y compuestos de plomo.

No todos los vehículos emiten los mismos tipos de contaminantes y en las mismas proporciones; éstas dependerán del tipo de motor que se utilice y los años de utilización, su estado y el tipo de vehículo,

Los vehículos que emplean gasolina como carburante emiten principalmente monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y compuestos de plomo. La emisión de este último tipo de contaminante se debe a la presencia en algunos tipos de gasolina de tetraetilo de plomo, aditivo que se añade para aumentar su índice de octano.

Los principales contaminantes emitidos por los vehículos que utilizan motores de ciclo diésel (autobuses y camiones, por ejemplo) son partículas sólidas en forma de hollín que da lugar a los humos negros, hidrocarburos no quemados, óxidos de nitrógeno y anhídrido sulfuroso procedente del azufre contenido en el combustible.

Fuentes Fijas:

Los contaminantes atmosféricos producidos por fuentes fijas son aquellos que proceden de los procesos de combustión de las industrias que utilizan combustibles fósiles para generar calor y energía, y son emitidos o evacuados por medio de las chimeneas, es decir el origen de estos contaminantes son puntuales y no son trasladados de un lugar u otro, si no se dispersan por factores meteorológicos del lugar donde se encuentre instalado este tipo de fuente.

Los contaminantes de las fuentes fijas principalmente de las industrias varían ya que cada industria tiene diferentes actividades u objetivos, y entonces depende del tipo de proceso y de producción empleado del tipo de combustible y sobre todo de la tecnología utilizada del buen estado de los equipos o maquinarias utilizadas en las industrias.

2.12.3. Contaminantes atmosféricos

Los contaminantes atmosféricos se pueden clasificar en contaminantes primarios y secundarios.

Primarios: Son aquellos que se emiten directamente a la atmósfera desde un foco identificable o fuente, que son principalmente producido por la combustión en los procesos industriales y de los automóviles, también hay que tomar en cuenta las

emisiones volcánicas como contaminantes primarios, siendo estos en algunos casos los causantes directos de los problemas ambientales que perjudica el bienestar de todos los seres vivos, los más significativos son:

CO, CO₂, SO₂, NO_x (Óxidos de Nitrógeno), Partículas < 10µm, Hidrocarburos, Metales pesados (Hg, Pb, Cd).

Monóxido de Carbono (CO): Es un gas inodoro e incoloro, el monóxido de carbono se produce como consecuencia de la combustión incompleta de combustibles a base de carbono, tales como la gasolina, el petróleo y la leña, y de la de productos naturales y sintéticos, como por ejemplo el humo de cigarrillos. Se lo halla en altas concentraciones en lugares cerrados, como por ejemplo garajes y túneles con mal ventilados, e incluso en caminos de tránsito congestionado.

Dióxido de Carbono (CO₂): Se origina a partir de la combustión de carbón, petróleo y gas natural la mayor parte de emisiones de este gas a la atmósfera es producido por actividades antropogénicas, es el principal causante del efecto invernadero y cambio climático.

Dióxido de azufre (SO₂): Es un gas inodoro cuando se halla en bajas concentraciones, pero en alta concentración despiden un olor muy fuerte. Se produce por la combustión de carbón, especialmente en producciones térmicas. También proviene de ciertos procesos industriales, tales como la fabricación de papel y la fundición de metales.

Al igual que los óxidos de nitrógeno, el dióxido de azufre es uno de los principales causantes del smog y la lluvia ácida. Está estrechamente relacionado con el ácido sulfúrico, que es un ácido fuerte. Puede causar daños en la vegetación y en los metales y ocasionar trastornos pulmonares permanentes y problemas respiratorios.

Óxido de nitrógeno (NO_x): Proviene de la combustión de la gasolina, el carbón y otros combustibles. Es uno de las principales causas del smog y la lluvia ácida. El primero se produce por la reacción de los óxidos de nitrógeno con compuestos orgánicos volátiles.

Partículas: Es todo tipo de materia en suspensión que puede ser de una mezcla muy compleja de sustancias inorgánicas y orgánicas en que se puede dividir en partículas finas y gruesas se encuentra en forma de humo, polvo y vapores, se origina por la

quema de carbón en las chimeneas, centrales térmicas, también se produce por la combustión del diésel en camiones y autobuses.

Otra de las causas que ocasionan partículas es por la erosión del suelo tanto por las actividades del hombre en la minería, canteras, construcción de carreteras o por la naturaleza causada por los vientos que dependiendo de su fuerza o velocidad levantan polvo.

Metales pesados (Hg, Pb, Cd): Son contaminantes bio acumulativos, su fuente son los combustibles especialmente los que contienen plomo que es un metal pesado que causa un gran daño a los seres vivos a largo plazo.

Contaminantes Secundarios: Son los que se forman en la atmósfera por reacciones químicas sobre los contaminantes primarios y se incluyen:

Ozono (O₃): Su formación se da durante la niebla fotoquímica es altamente reactivo.

2.13 Unidades de concentración

Las diferentes formas de expresar las concentraciones de los contaminantes del aire son:

- ✓ ppm (v/v)
- ✓ ppb (v/v)
- ✓ mg/m³
- ✓ mg/Nm³ (Nm³= m³ normal seco, es decir, en CN2, tem= 0°C, presión=1.013 mb).

El metro cúbico normal es importante si la temperatura de emisión es mayor a la atmosférica ya que un mol de gas emitido no ocupa 22,4 litros. A temperaturas y presiones no normales (no estándar), se tienen que hacer varias correcciones.

2.14 Efectos de la contaminación atmosférica.

Los contaminantes atmosféricos como gases corrosivos y emanaciones de polvos dañan el medio ambiente produciendo olores desagradables, pérdida de visibilidad y daños para la salud humana, para los cultivos y otras formas de vegetación y sobre los materiales de construcción.

Los efectos de los contaminantes atmosféricos dependen de la concentración y el tipo de contaminante, el tiempo de exposición y sensibilidad del receptor así como las fluctuaciones de los contaminantes y también la combinación de estos contaminantes con otros agentes químicos.

✓ Efectos sobre los seres humanos:

Enfermedades respiratorias como la neumonía, bronquitis, asma, a altas concentraciones y el tiempo de exposiciones a los contaminantes atmosféricos las personas tienden a padecer de cáncer al pulmón.

Los niveles altos de contaminación en el aire relacionados con las partículas PM2.5, que despiden los motores diésel de los coches, provoca **enfermedades del sistema circulatorio**.

✓ Efectos sobre las plantas:

Las plantas son sensibles a la mayor parte de los contaminantes del aire, y sufren daños significativos a concentraciones mucho más bajas que las necesarias para causar efectos perjudiciales sobre la salud humana y animal.

Es muy difícil establecer valores límites de la contaminación atmosférica a partir de los cuales los efectos negativos se empiezan a manifestar, ya que estos dependen de la constitución de la planta y de la especie de que se trate, es decir, hay una especificidad de respuestas.

Por otra parte, los efectos producidos por la contaminación atmosférica se pueden manifestar por la alteración de diversos mecanismos vitales de las plantas. Así, las

funciones metabólicas y los tejidos vegetales se pueden ver afectados como consecuencia de la acción de gases como el anhídrido sulfuroso, el monóxido de carbono y los compuestos de flúor.

Los daños causados se manifiestan en forma de necrosis foliar en áreas localizadas que presentan un color marrón-rojizo-blanco, de clorosis, adquiriendo el tejido una coloración verde pálida o amarilla, o por la aparición de manchas puntuales necróticas. Si la acción del contaminante es muy fuerte puede llegar a paralizar el crecimiento de la planta.

Entre los distintos contaminantes que se presentan generalmente en el aire ambiente, el SO_2 es el que tiene mayor importancia debido a la gran toxicidad que tiene para la vegetación.

✓ Efectos sobre los materiales:

Cada vez se está prestando más atención, tanto por sus repercusiones económicas como por los daños irreparables que causa sobre los objetos y los monumentos de alto valor histórico-artístico, a los efectos que la contaminación atmosférica produce sobre los materiales.

La acción de los contaminantes atmosféricos sobre los materiales puede manifestarse por la sedimentación de partículas sobre la superficie de los mismos, afectando su aspecto externo, o por ataque químico al reaccionar el contaminante con el material. Los SO_x causan daños a muchos tipos de materiales, bien directa o indirectamente. Un alto contenido de SO_x en el aire produce la aceleración de la corrosión de los metales tales como el acero al carbono, zinc, acero galvanizado, compuestos del cobre, níquel y aluminio. Esta aceleración se ve favorecida por la presencia de partículas depositadas por la humedad y por la temperatura.

En general, puede señalarse que la corrosividad de una atmósfera depende de condiciones meteorológicas y factores de contaminación. Se han observado correlaciones entre tasas de corrosión en metales y concentraciones de SO_2 en la atmósfera, dándose las tasas altas de corrosión más altas en zonas industrializadas.

Las nieblas de ácido sulfúrico procedentes de la conversión catalítica del SO_2 a SO_3 en la atmósfera, atacan a los materiales de construcción como el mármol, la caliza y la argamasa, convirtiendo los carbonatos en sulfatos solubles en el agua de lluvia. Esto unido a que el volumen específico de los sulfatos es mayor que el de los carbonatos, hace que en la piedra aparezcan escamas y se debilite mecánicamente.

2.15 Modelos de dispersión de contaminantes.

Los modelos de dispersión son métodos que se utilizan para determinar las concentraciones de contaminantes atmosféricos a nivel del suelo a diferentes distancias de la fuente es decir aprecia la distribución espacial y temporal de los contaminantes, para la elaboración de los modelos de dispersión se usan representaciones matemáticas o físicas, son logaritmos que permiten calcular la probable distribución de concentración de contaminantes emanado por una o varias fuentes.

Usando como datos de ingreso parámetros meteorológicos y de fuente, que sirven como condiciones iniciales. El estudio de la difusión de contaminantes a través de modelos de dispersión o matemáticos se ha convertido en el método más aceptado para el control, diagnóstico y prevención de la contaminación pero ha debido a su complejidad de las ecuaciones matemáticas que se utiliza se hace uso de la computadora para su fácil procesamiento y obtener los resultados que se quiere verificar.

Para recopilar información específica en la elaboración de modelos de dispersión de una fuente se debe tomar en cuenta:

- ✓ La ubicación del punto de emisión (latitud y longitud).
- ✓ Altura de la chimenea.
- ✓ Tipo y cantidad de contaminantes.
- ✓ Condiciones del gas de la chimenea.
- ✓ Parámetros meteorológicos como velocidad y dirección del viento, presión temperatura ambiental.

Los modelos de difusión de contaminantes atmosféricos nos ayuda a determinar:

- Diseño de la chimenea.
- Análisis de combustión.
- Regularidad de evolución de la dispersión.
- Diseñar redes de monitoreo.
- Evaluación para control tecnológico.
- Instalación de nuevas fuentes.

Algunos modelos matemáticos para determinar la calidad del aire se han desarrollado y son los siguientes:

- ✓ Modelo Gauussiano
- ✓ Modelo Langrangeanos
- ✓ Modelos Eurelianos
- ✓ Modelo Numérico.
- ✓ Modelo estadístico.
- ✓ Modelo empírico.
- ✓ Modelo físico

2.16 Modelos Lagrangeanos y Eulerianos

Langrangeanos: Son aquellos que matemáticamente siguen las parcelas de una pluma de contaminación, cuya movimiento se asocia a un proceso de desplazamiento aleatorio.

Estos modelos calculan la dispersión de los contaminantes calculando las estadísticas de la trayectoria de un número considerable de parcelas de la pluma, estableciendo un sistemas de referencia móvil que sigue el desplazamiento de la propia pluma es decir calcula o analizan en base de un volumen de aire las emisiones de las fuentes, concentraciones y mezclas que los contaminantes atmosféricos que se producen en el área de estudio específico, y que va cambiando su posición con respecto a la dirección y velocidad del viento.

Eulerianos: se basa en la misma aproximación de los modelos Lagrangianos, siguiendo el movimiento de las parcelas de la pluma pero la diferencia fundamental es que este enfoque se establece un sistema tridimensional de coordenadas de referencia fijo en un punto determinado.

2.17 Modelo Gaussiano.

El modelo gaussiano es la técnica mayoritariamente empleado para la estimación de la difusión de contaminantes atmosféricos ya que permite calcular la concentración de estos contaminantes a nivel del suelo. El modelo gaussiano lejos de ser exacto ya que algunas de las suposiciones del mismo comprometen a la exactitud. Entre estas suposiciones incluyen:

1. No existe variación ni en la velocidad ni en la dirección del viento entre el foco o la fuente y el receptor.
2. Todo el vertido permanece en la atmósfera de manera que no reacciona ni se deposita en forma de lluvia o partículas. Cualquier penacho que impacta en el terreno rebota en su totalidad.
3. La dispersión no ocurre en la dirección descendente del viento. Únicamente tiene lugar en las direcciones verticales y horizontales del viento.
La dispersión es estocástica y discreta exactamente una distribución de Gauss.

2.18 Formación de "Penachos"

- ✓ **Penacho de espiral:** condiciones muy inestables y son propicios para la dispersión de contaminantes atmosféricas emitidos por las fábricas.

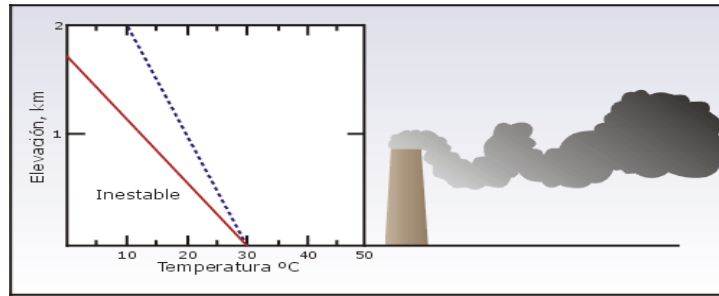


Figura 5-2. Penachos de chimeneas espirales

Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/969/1/jaimehernanbuitragoarango.2003.pdf>

- ✓ **Penacho de abanico:** condiciones estables es una inversión impide el movimiento vertical pero no el horizontal y el penacho se puede extender varios km de la fuente. Ocurren con frecuencia en las primeras horas de la mañana (inversión por radiación).

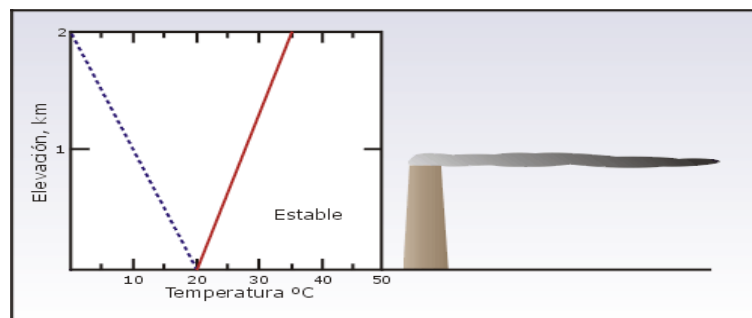


Figura 6-2. Penachos de chimeneas abanico

Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/969/1/jaimehernanbuitragoarango.2003.pdf>

- ✓ **Penacho de cono:** condiciones neutrales o ligeramente estables se caracteriza por su elevación longitudinal en forma de cono.

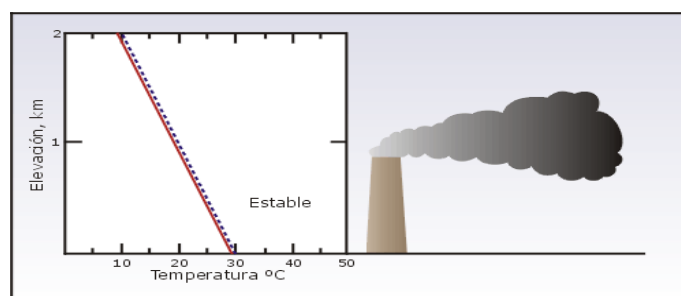


Figura 7-2. Penachos de chimeneas de cono

Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/969/1/jaimehernanbuitragoarango.2003.pdf>

- ✓ **Penacho de flotación:** Condiciones inestables por encima de una inversión.

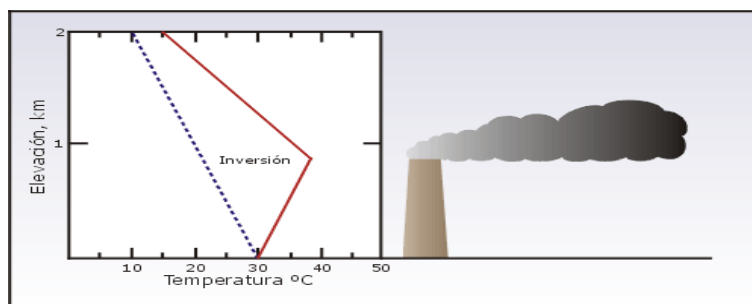


Figura 8-2. Penachos de chimeneas de flotación

Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/969/1/jaimehernanbuitragoarango.2003.pdf>

- ✓ **Penacho de fumigación:** Se forma justo debajo de una capa de inversión y puede producir una grave situación de contaminación.

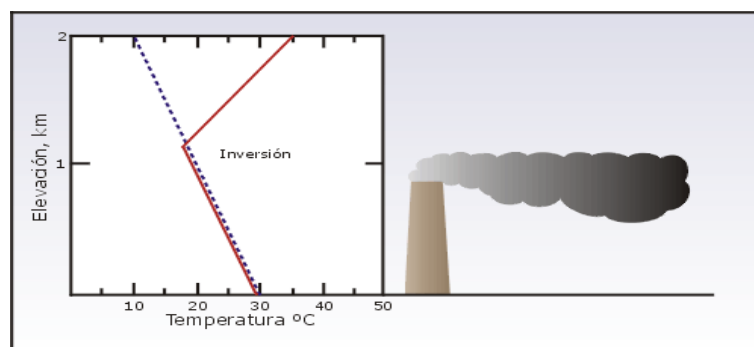


Figura 9-2. Penachos de chimeneas de fumigación

Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/969/1/jaimehernanbuitragoarango.2003.pdf>

2.19 Modelo gaussiano para contaminantes que no reaccionan.

Suponiendo constantes la tasa de emisión, Q (masa de contaminante emitida en la unidad de tiempo) y las condiciones atmosféricas, se llega a un estado estacionario, en la cual el penacho adquiere una forma constante en el tiempo la cual presenta una distribución normal o de Gauss.

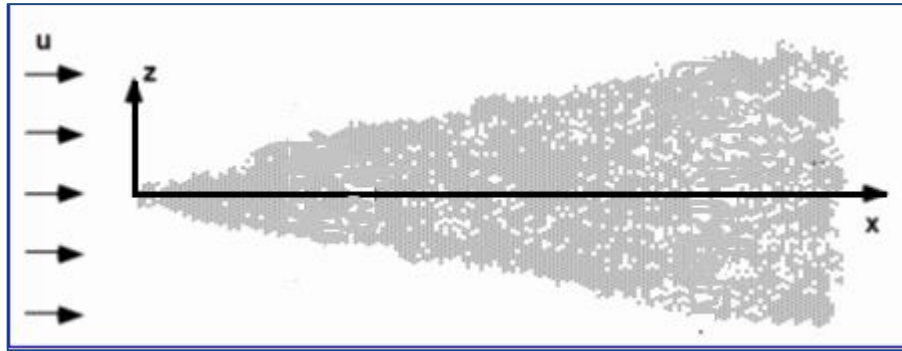


Figura 10-2. Esquema de elevación de perfil de concentraciones de un penacho

Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/969/1/jaimehernanbuitragoarango.2003.pdf>

La concentración de contaminantes en las direcciones perpendiculares a la del viento puede ser descrita utilizando una distribución normal o de Gauss como la de la figura (campana de Gauss) cuya forma depende de los parámetros μ y σ .

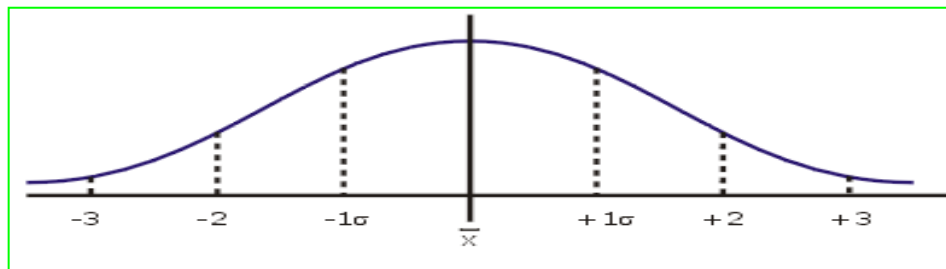


Figura 11-2. Curva de distribución normal Gaussiana.

Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/969/1/jaimehernanbuitragoarango.2003.pdf>

$$f(x) = \frac{1}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

- ✓ μ (valor medio) indica la posición de la campana (parámetro de centralización).
- ✓ σ es el parámetro de dispersión o desviación estándar

Representación esquemática de una pluma gaussiana o de un penacho

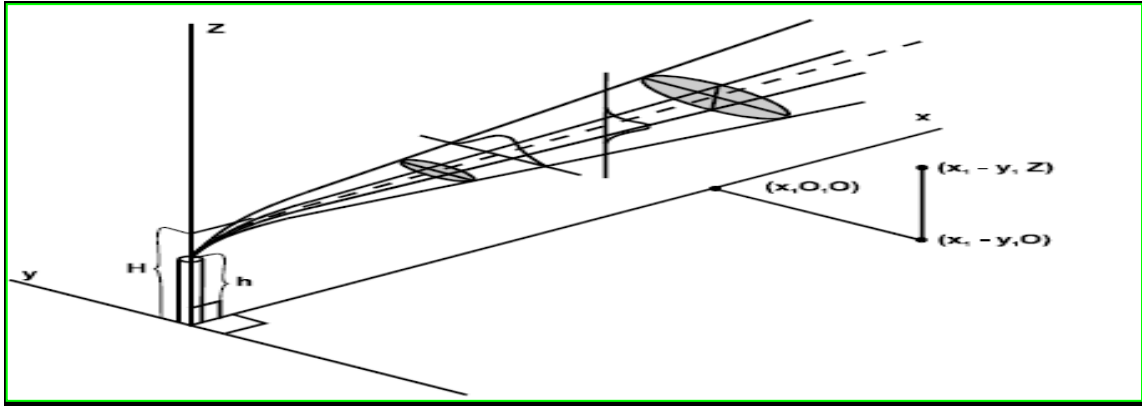


Figura 12-2. Curva de distribución normal Gaussiana.

Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/969/1/jaimehernanbuitragoarango.2003.pdf>

El coeficiente de dispersión se mide en metros e indica cuánto se ha dispersado la masa inicial cuando la pluma alcanza una distancia dada desde la fuente de emisión.

z = Dirección vertical

x = Distancia en dirección del viento

y = Dirección ortogonal al plano xz

Dh = Sobre elevación del penacho

h = Altura de chimenea

H = Altura efectiva = h + D h

2.20 Ecuación de la difusión.

La concentración de un contaminante en un penacho en cualquier punto x, y o z puede calcularse con la ecuación de difusión siguiente:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi V_x \sigma_x \sigma_y} e^{\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}} \left[e^{\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{\frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2}} \right] \quad \text{Ecuación N°18}$$

C = Concentración (masa/volumen) unidades Kg/m³, m³/m³

Q = Taza de emisión (masa/tiempo) unidades Kg/s, m³/s

V_x = Velocidad del viento en dirección x (distancia/tiempo)

σ_y, σ_z = Coeficiente de difusión (distancia), unidades en m, en función de la distancia x aguas abajo.

H = Altura efectiva de la chimenea

Z = Altura del receptor esto significa que es el tamaño del receptor ejemplo altura de las personas, arboles, animales.

Por sistemas de coordenadas:

$y = 0$ en la línea central del penacho

$x = 0$ en la fuente (chimenea)

$z = 0$ en el terreno

Los coeficientes de difusión o dispersión, dependen de la estabilidad atmosférica y esta a su vez depende de la clase de atmósfera.

El grado de estabilidad atmosférica se determina a partir de la diferencia de temperatura entre una porción de aire y el aire circundante. Este contraste puede causar el movimiento vertical de la porción (esto es, su elevación o caída). Este movimiento se caracteriza por cuatro condiciones básicas que describen la estabilidad general de la atmósfera.

En condiciones estables, el movimiento vertical se inhibe, mientras que en condiciones inestables la porción de aire tiende a moverse continuamente hacia arriba o hacia abajo.

Las condiciones neutrales no proporcionan ni inhiben el movimiento del aire después del gradiente de calentamiento o enfriamiento adiabático.

La clase de atmósfera viene determinada por la cantidad de insolación o radiación solar, la humedad las inversiones nocturnas y la velocidad del viento (un fuerte viento produce estabilidad vertical).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la investigación

El diseño del presente trabajo de investigación es cuasi-experimental, ya que se trabajó con datos meteorológicos de la ciudad de Riobamba obtenidos de la Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH, y que fueron procesados mediante el modelo matemático Gaussiano (ISCLT), que ayuda en la estimación de contaminantes no reactivos que se difunden en la atmosfera de la ciudad.

3.2. Tipo de investigación

Es un estudio descriptivo porque permitió describir los eventos y fenómenos, motivo de estudio, de esta forma se caracterizó la difusión de los contaminantes atmosféricos, bajo condiciones físicas y meteorológicas de la ciudad de Riobamba permitiendo señalar sus propiedades.

En la investigación de campo permitió obtener los parámetros de las fuentes fijas de la zona urbana de la ciudad de Riobamba, datos necesarios para la modelación matemática, cabe señalar que no se ha procedido a usar datos exactos de fuentes dado que no se puede violar la reserva de la información que manejan las empresas y que el trabajo se centra a estudiar más bien la difusión de contaminantes, sin embargo con la información recogida se puede directamente cambiar dicha información y establecer con datos reales

Bibliográfica se investigó metodología específica para la aplicación del modelo Gaussiano y también las normas ambientales que rigen en el País.

3.3. Metodología.

Se utilizó el método científico ya que para obtener los resultados deseados se debe seguir un proceso.

Se empleó el método inductivo – deductivo ya que se estudió la metodología del modelo matemático Gaussiano (ISCLT) que permite conocer la difusión de contaminantes en la zona urbana de la ciudad de Riobamba.

El método experimental permitió caracterizar las condiciones meteorológicas en zona urbana de la ciudad de Riobamba, usando datos de la estación meteorológica del grupo de energías alternativas de la ESPOCH.

3.4. Técnicas.

Se procedió a realizar una observación directa en las fuentes fijas tanto la altura de la chimenea y como el lugar exacto de cada una de ellas.

Los datos meteorológicos fueron recopilados de la Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH, en archivos digitales del año 2010, datos obtenidos cada hora; los datos que se obtuvieron fueron de los siguientes parámetros meteorológicos: Velocidad del Viento, Dirección del viento, Temperatura, Nubosidad, Flujo de calor, Radiación Solar.

Para calcular las concentraciones de contaminates se utilizó el modelo de difusión Gaussiano ISCLT (*Industrial Source Complex Short Time*) modelo utilizado y desarrollado por la Agencia de Protección de Medio Ambiente EPA estadounidense sus siglas en inglés (*Enviromental Protection Agency*) y distribuido gratuitamente.

3.5. Población y muestra.

La población son los datos de la difusión de contaminantes atmosféricos bajo condiciones físicas y meteorológicos de la ciudad de Riobamba, se consideró los datos meteorológicas de la Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH y de la que se encuentra en Agronomía, desde Enero a Diciembre del año 2010, en un intervalo de tiempo de cada hora.

3.6. Procedimiento

3.6.1. Modelo ISCTL

Para calcular las concentraciones de contaminantes se ha utilizado el modelo de difusión Gaussiano ISCLT(*Industrial Source Complex Short Time*). Este modelo es el más utilizado y desarrollado por la Agencia de Protección de Medio Ambiente EPA estadounidense sus siglas en inglés (*Environmental Protection Agency*) y es distribuido gratuitamente.

El modelo se emplea para cálculos de concentraciones promedios a nivel del suelo en periodos de tiempos mensuales, trimestrales o anuales, a partir del ingreso de datos de fuente, meteorológicos, escogiendo las opciones apropiadas según las condiciones de la zona donde se va estudiar y posteriormente calcular las concentraciones, ya sea en una red o un receptor particularmente localizado.

Este modelo se escoge para evaluar los niveles de concentraciones generados por una o varias fuentes de contaminantes atmosféricos.

Este tipo de modelo es usado normalmente para combinar múltiples fuentes puntuales, área y volumen, y es conveniente para los siguientes tipos de aplicaciones:

- ✓ Diseño de la chimenea.
- ✓ Evaluación del funcionamiento de los equipos.
- ✓ Prevención del deterioro de los equipos.
- ✓ Instalación de nuevas fuentes.
- ✓ Conversión de combustibles.
- ✓ Aplicación de combustión de la fuente.
- ✓ Evaluación y control tecnológico.

3.6.2. *Descripción general del modelo*

El modelo ISCLT (*Industrial Source Complex Short Time*), como se explicó anteriormente es un modelo Gaussiano que determina la difusión de los contaminantes atmosférico de una fuente desde el nivel del suelo tomando en cuenta datos meteorológicos y características físicas de la zona de estudio, en esta parte se describirá el modelo.

Formulario Principal.

Este formulario contiene todas las funciones del sistema desde este podremos acceder a todos los módulos del programa como son el ingreso de datos fuente, opciones del modelo y cálculo de la distribución de concentración de contaminantes atmosféricos (Figura 1-3)

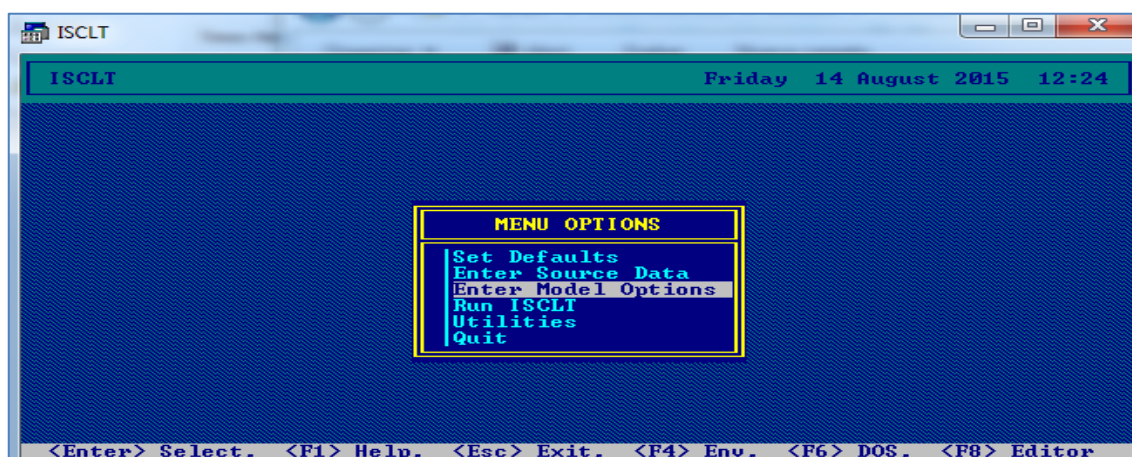


Figura 1-3. Formulario principal para calcular la distribución de contaminantes atmosféricos.

Fuente: Software Modelo ISCLT.

3.6.3. *Ingreso de datos meteorológicos*

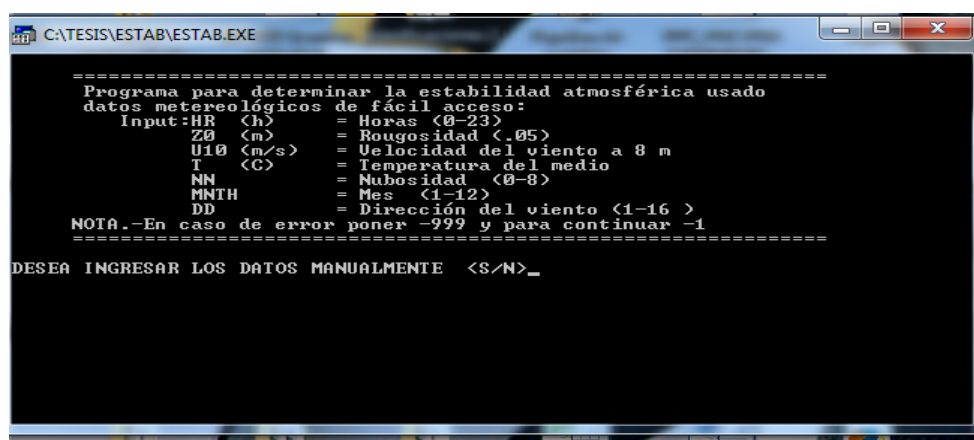


Figura 2-3. Ingreso de Datos Meteorológicos

Fuente: Software Modelo ESTAB.

Los datos meteorológicos, que resultan fundamentales en la difusión de contaminantes, pueden ser ingresados en cortos intervalos de tiempo (horas o días) o largos intervalos de tiempos (meses o años), en los modelos matemáticos de difusión de contaminantes.

La tabla 1-3 da el ingreso de datos meteorológicos por horas o cada hora requeridos modelos a pequeños intervalos de tiempo. Este ingreso incluye la velocidad media del viento medido a una altura z_1 , la dirección hacia cual el viento se dirige, el exponente del perfil del viento, la temperatura ambiental, la categoría de estabilidad de Pasquill (es la más comúnmente utilizada) el gradiente vertical de temperatura potencial y la altura de la capa de mezcla.

En general, estos ingresos son desarrollados desde corrientes superficiales y datos meteorológicos de vientos con velocidades altas por el procesador por un programa, como es utilizado por el modelo de una sola fuente (CRSTER) (EPA, 1977 y Catalano, 1986). Si el procesador de datos meteorológicos es usado, ellos pueden ingresar, por cada combinación de la velocidad del viento y las categorías de estabilidad de Pasquill, valores del exponente de perfil del viento para sitios específicos y el gradiente vertical de temperatura potencial.

Si no se ingresa el exponente del perfil del viento para sitios específicos y el gradiente vertical de temperatura potencial, el modelo puede usar los valores eficientes dados en la Tabla 2-3. Sin ser este el método siempre usado, pero en general es el más usado.

Tabla 1-3. Ingreso de los parámetros meteorológicos por hora requeridos por el modelo.

Parámetro	Definición
\bar{u}_1	- Velocidad media del viento en metros por segundo (m/s) a una altura z_1 , valor para z_1 de 10 metros
AFVR	- Flujo promedio vectorial randomico (dirección hacia el cual el viento es soplado)
p	- Exponente del perfil del viento
T_a	- Temperatura ambiental en grados kelvin (°K)
H_m	- Altura de la capa de mezclas (metros)
Estabilidad	- Categorías de la estabilidad de Pasquill (1=A, 2=B, etc.)
	- <i>Gradiente vertical de la temperatura potencial en grados kelvin por</i>

Fuente: Datos, EPA 1977

Tabla 2-3. Valores ingresados para los exponentes del perfil del viento y los gradientes vertical de temperatura potencial.

Categorías de la Estabilidad de Pasquill	Exponente p del perfil del viento (Urbana)	Exponente p del perfil del viento (Rural)	Gradiente vertical de temperatura potencial
A	0.15	0.07	0.000
B	0.15	0.07	0.000
C	0.20	0.10	0.000
D	0.25	0.15	0.000
E	0.30	0.35	0.020
F	0.30	0.55	0.035

Fuente: Datos, EPA 1977

Las concentraciones calculadas usando modelos de dispersión Gaussiana son inversamente proporcionales a la velocidad media del viento y así el cálculo de concentraciones es de aproximadamente infinita como que la velocidad del viento se aproxima a cero (vientos con calma).

También, esto no es base para estimar la dirección del viento durante periodos de calma. El procesador meteorológico del programa puede fijar la velocidad del viento iguala 1 metro por segundo y en el caso de vientos calmados, fijamos la dirección del viento al valor reportado por la última hora sin calma.

La Tabla 3-3 lista el ingreso de datos meteorológicos requeridos por modelos a grandes intervalos de tiempo (ISC modelo estándar de la EPA). Las temporadas estacionales o anuales, son principales ingresos meteorológicos para el modelo.

Un resumen es listado de la conexión de la frecuencia de ocurrencia de la velocidad del viento, clasificados de acuerdo a las categorías de estabilidad de Pasquill. La Tabla 4-3 identifica las combinaciones de la velocidad del viento y las categorías de estabilidad de Pasquill que sigue después de Turner (1964) procedimientos a utilizar en observaciones atmosféricas de superficies aerodinámicas para estimar la estabilidad atmosférica.

Las categorías de la velocidad del viento en la Tabla 4-3, están dados en nudos porque la estación de Servicios Atmosféricos Nacionales (NWS) reporta las velocidades del viento desde el aeropuerto como aproximaciones más exactas en nudos. Los valores ingresados de la velocidad de viento en metros por segundo.

Tabla 3-3. Ingreso meteorológicos requeridos por el modelo a intervalos grandes de tiempo.

Parámetro	Definición
$f_{i,j,k,\lambda}$	Frecuencia relativa de la i-ésima categoría de la velocidad de viento, la j-ésima categoría de la dirección de viento y la categoría de estabilidad k para la estación λ^{th}
\bar{u}_i	Velocidad media en metros por segundo (m/s) a una altura z_i para cada categoría de la velocidad del viento (valores ingresados basados en las categorías de la velocidad del viento STAR).
$P_{j,k}$	Exponente del perfil del viento para cada combinación de la velocidad del viento y categorías de estabilidad (Valores asignados en base de la estabilidad; ver la Tabla 2-2).
$T_{a,k,\lambda}$	Temperatura ambiente para la categoría de estabilidad k^{th} y la estación λ^{th} en grados kelvin ($^{\circ}k$)
$\partial\theta/\partial z_{j,k}$	Gradiente vertical de temperatura potencial en grados kelvin por metro ($^{\circ}k/m$) para cada combinación de la velocidad del viento y las categorías de estabilidad (valores asignados en base de la categoría de estabilidad; ver la Tabla 2-2).
$H_{m,i,k,\lambda}$	Altura de mezcla en metros para la categoría de la velocidad del viento i^{th} , categoría de estabilidad k^{th} y la estación λ^{th} .

Fuente: Datos, EPA 1977

Tabla 4-3. Posibles combinaciones de la velocidad de viento y las categorías de la estabilidad de Pasquill.

Categorías de Pasquill	Velocidad del viento (kt)					
	0-3	4-6	7-10	11-16	17-21	>22
A	x	x				
B	x	x	x			
C	x	x	x	x	x	x
D	x	x	x	x	x	x
E		x	x			
F	X	x				

Fuente: Datos, EPA 1977

Los dieciséis sectores estándar de 22.5 grados de la dirección de viento usados como muestra en la Figura 1-3 admite el resumen con seis categorías de estabilidad (A-F) o cinco categorías de estabilidad (A-E) con las categorías combinadas E y F.

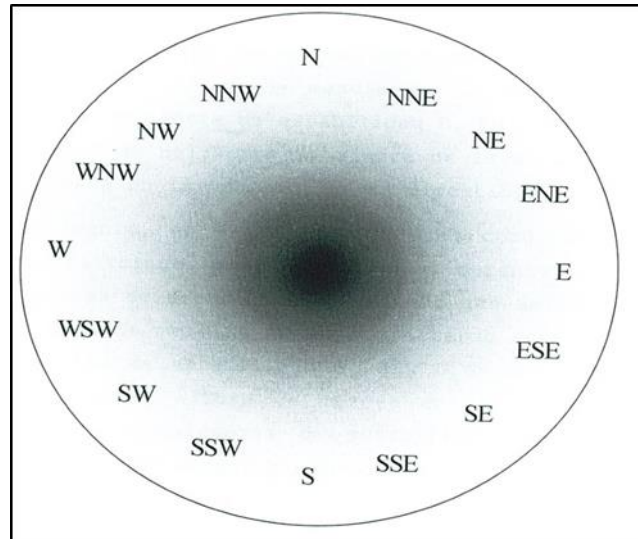


Figura 3-3. Los dieciséis sectores estándar de 22,5 grados de la dirección del viento

Fuente: A. Haro Estudio PIR

Los modelos deben especificar la temperatura ambiental por estabilidad y la altura de la capa de mezclas por estabilidad y/o velocidad del viento y temporadas estacionales.

Ello indica que el promedio temporal máximo de la temperatura diaria será indicada para las categorías de estabilidad A, B, y C; el promedio temporal mínimo de la temperatura diaria será asignado por las categorías de estabilidad E y F; y el promedio temporal de la temperatura será asignado por la categoría de estabilidad D.

En áreas urbanas, en la práctica es para asignar a la media tarde como la altura de la capa de mezcla dado por Holzworth (1972) para las categorías de estabilidad B y C, a las 1,5 horas de la media tarde se da la altura de la mezcla de categoría de estabilidad A, en las madrugadas la altura de mezcla se da para las categorías de estabilidad E y F, y los promedios de la altura de mezcla en la madrugada y en la tarde por la categoría de estabilidad D.

En áreas rurales comúnmente se asume que no se restringe la mezcla vertical durante las horas con las categorías de estabilidad E y F. Lo que Holzworth sugiere que la altura de mezclas en la media tarde será asignado por las categorías de estabilidad B,C y D en

áreas rurales y a las 1.5 horas la altura de mezcla en la media tarde será asignado por la categoría de estabilidad A.

Si los datos climatológicos son disponibles, los exponentes del perfil del viento y los gradientes verticales de la temperatura potencial pueden ser asignados para utilizar la combinación de la velocidad del viento y las categorías de estabilidad en el orden de hacer el modelo para sitios específicos los exponentes del perfil del viento y los gradientes vertical de temperatura potencial, hay que recalcar que debido a la posición geográfica de la ciudad de Riobamba, es conveniente realizar un análisis de estos parámetros a través de un estudio en el que sean calculados nuevamente, con datos tomados en dichas condiciones.

Ingreso de datos de estabilidad.

Los datos de estabilidad se determinan usando el modelo ESTAB, que determina la estabilidad atmosférica en función de los datos meteorológicos y las condiciones físicas de la zona, el cual tiene como base el modelo de [Van Ulden, Hostlag, 1985].

En este método se considera el balance total de energía correspondiente a un elemento de volumen con base a la superficie, que contiene cobertura vegetal y la atmósfera circundante. Una parte de la energía que recibe se empleará en producir evapotranspiración y es la que interesa evaluar, traduciendo el resultado a unidades de agua evaporada.

La ecuación del balance de energía, de forma simplificada sería, la dada en la ecuación N° 19

$$R_N = Q_H + Q_E + Q_G \quad \text{Ecuación N°19}$$

- RN flujo de radiación neta
- QG flujo de calor almacenado en el suelo
- QH flujo de calor sensible.
- QE flujo de calor latente

En la fórmula no se tiene en cuenta la energía invertida en la fotosíntesis, ya que es despreciable frente a otros flujos energéticos. Asimismo, se desprecian la divergencia

horizontal de calor latente y de calor sensible en dicho volumen. También se supone nulo, el flujo de calor adventicio procedente de las zonas circundantes, para cuya hipótesis es preciso crear una zona de amortiguamiento de este efecto (conocido como efecto "oasis") alrededor de la parcela experimental, especialmente si se trabaja en zonas áridas y la parcela se mantiene húmeda artificialmente (por irrigación).

Los términos RN y QG se pueden medir con bastante aproximación directamente con el radiómetro de radiación neta, sistema de termopares de láminas ennegrecidas que reciben en una y otra cara la radiación global incidente (R_i) y la radiación global reflejada (R_r) y miden la diferencia (RN).

QG se mide de forma análoga a RN, con pequeños termopares enterrados en el suelo. En ocasiones también se desprecia el flujo de calor almacenado en el suelo (C_a) lo que puede dar lugar a que se incurran en errores importantes. Por ejemplo, a primeras horas de la mañana QG puede ser negativo y del orden del 25% de RN por lo que despreciar este término producirá tanto más error, cuanto más corto sea el intervalo de medida, y más próximo a las horas matinales. Otras veces C_a se estima empíricamente como función fija de RN.

El flujo de calor sensible (QH) y el flujo de calor latente (QL) no pueden medirse por separado. El flujo de calor sensible es el calor que calienta el aire en el volumen elemental considerado y el flujo de calor latente, es la energía que se emplea exclusivamente para producir evaporación. El cociente entre ambos flujos (QH/QL) se conoce con el nombre de relación de Bowen .

Partiendo de un balance de energía superficial:

Con $QG = aRN$

Donde $a = 0,1$ para áreas rurales y $a = 0,3$ para áreas urbanas (Doll D, Ching J. K. S. y Kaneshire J).

$$Q_H = \left[\frac{(1-\alpha) + S}{1+S} \right] R_N (1-a) - \alpha\beta \quad \text{Ecuación N° 20}$$

Donde β es una constante, que asumimos igual a 20 W m^{-2} , α constante, el parámetro S es definido por:

$$S = \exp [0,055 (T - 279)] \quad \text{Ecuación N° 21}$$

La radiación neta es observada, también puede ser parametrizada, según la ecuación 22, basada en el albedo A (se puede hallar en tablas), ángulo de elevación solar θ , fracción de nubosidad N, flujo de radiación en onda corta QSW, y la temperatura en la superficie de la tierra T:

$$R_N = \frac{((1-A)Q_{SW} + c_1 T^6 - \sigma T^4 + c_2 N)}{1 + c_3} \quad \text{Ecuación N° 22}$$

Dónde:

$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4} \equiv$ es la constante de Stefan-Boltzmann

$c_1 = 5,31 \times 10^{-13} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-6}$ y $c_2 = 60 \text{ W m}^{-2}$

El parámetro C_3 es dado por la fórmula:

$$c_3 = \frac{0.38((1-\alpha)S+1)}{S+1}$$

Si Q_H no es observado, este puede ser parametrizado, según la ecuación 24, como función de ϕ y N (Holtslag y Van Ulden).

$$Q_H = (a_1 \sin \phi + a_2)(1 - b_1 N^{b_2})(1 - A) \quad \text{Ecuación N° 23}$$

$a_1 = 990 \text{ W m}^{-2}$

$a_2 = -30 \text{ W m}^{-2}$

$b_1 = 0,75$

$b_2 = 3,4$

El criterio para definir las estabildades atmosféricas se basa primordialmente en la rugosidad y la longitud de Obukov, para lo cual se aplico el modelo de Van UndelHostlang (1985), para determinar las categorías de estabilidad definidas según Pasquill (1962).

A: Extremadamente Inestable

B: Moderadamente Inestable

F: Moderadamente Estable.



El eje x es positivo para el este y el eje y es positivo para el norte. Notemos que el origen del receptor polar es siempre $x=0$, $y=0$.

Tabla 5-3. Datos de ingreso requeridos por un modelo de difusión.

Parámetro	Definición
Chimenea	
Q	Emisión de la polución para cálculos de concentración (masa por unidad de tiempo)
Q_{τ}	Emisión de la polución total durante el periodo τ para el cual la deposición es calculado (masa)
ψ	Coeficiente de decaimiento de la polución
X, Y	Coordenadas X, Y de la chimenea (metros)
z_s	Elevación de la base de la chimenea (metros sobre el nivel del mar)
H	Altura de la chimenea (metros)
v_s	Velocidad de salida de la chimenea (metros por segundo)
d	Diámetro interno de la chimenea (metros)
T_s	Temperatura salida de la chimenea
ϕ_n	Fracción de masa de las partículas en la n -ésima categoría de la velocidad de asentamiento
V_{sn}	Velocidad de asentamiento gravitacional para partículas en la n -ésima categoría de la velocidad de asentamiento (metros por segundo)
γ_n	Coeficiente de reflexión superficial para partículas en la n -ésima categoría
h_b, BH_j	Altura adyacente de construcción de la chimenea (metros) direcciones específicas de las alturas de construcción (metros) para la j -ésima categoría de la dirección del viento. La dirección de las alturas específicas son requeridas según el método de la construcción de la estela de efectos de Schulman-Scire.
W, BH_j	Ancho adyacente de construcción de la chimenea (metros).- dirección específica de los anchos de construcción (metros) para la j -ésima categoría de la dirección del viento. La dirección de las alturas específicas son requeridas según el método de la construcción de la estela de efectos de Schulman-Scire.
L	Longitud adyacente de construcción de la chimenea (metros)

Fuente de Volumen y Fuente lineal	
Q	La misma definición que para la chimenea
Q_{τ}	La misma definición que para la chimenea
ψ	La misma definición que para la chimenea
X, Y	Coordenadas X, Y del centro del volumen de la fuente o de cada volumen de la fuente utilizada para representar una fuente lineal (metros)
z_s	Elevación de la superficie terrestre al punto del centro de cada volumen de la fuente (metros sobre el nivel del mar)
H	Altura al centro de cada volumen de la fuente (metros)
δ_{y0}	Dimensión inicial horizontal (metros)
δ_{z0}	Dimensión inicial vertical (metros)
ϕ_n, V_{sn}, γ_n	La misma definición que para la chimenea

Fuente, Manual modelo ISCLT.

La razón de emisión de la polución es también requerida por cada fuente, si la polución varía por un mecanismo que puede ser descrito por el decaimiento exponencial dependiendo del tiempo, podemos extraer un coeficiente de decaimiento ψ . Notamos que si SO_2 es modelado en el modelo urbano, un decaimiento de vida media de 4 horas se asigna automáticamente.

Los parámetros Φ_n , V_{sn} , γ_n son solo datos de ingreso si la concentración o cálculos de deposición son hechas para fuentes particulares con apreciable velocidad fija gravitacional (diámetro más grande que 20 micrómetros).

Emisiones de partículas de cada fuente pueden ser divididas para un máximo de 20 categorías de velocidad fija gravitacional.

Las razones de emisión utilizadas para el modelo a grandes intervalos de tiempo pueden ser promedios anuales o variados por temporadas, por la velocidad del viento y las categorías por temporadas, por la velocidad del viento y las categorías de estabilidad.

General Source Information						
Src #	Source Type <M>	Source Description	X-Coord. (M)	Y-Coord. (M)	Base Elev. (M)	Height (M)
1	Stack	Coal Tank	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Figura 5-3. Ingreso de datos e información general de la fuente.

Fuente: Software Modelo ISCLT.

Stack Source Data						
Src #	Diameter (M)	Velocity or Flow Rate (M/S)	Temperature (K)	Bldg. Height (M)	Maximum Proj. Width (M)	
1	1.000000	1.000000	1664.320	293.1500	0.000000	0.000000

Figura 6-3. Ingreso de datos fuente puntual.

Fuente: Software Modelo ISCLT.

Emission Rates In Grams/Second (Grams/Sec/Sq. Meter For Area Sources)				
Src #	????	????	????	????
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Figura 7-3. Ingreso de Emisión de Fuente

Fuente: Software Modelo ISCLT.

Receptores de Datos

Los modelos de dispersión permiten seleccionar un sistema de receptores (para monitoreo), sea coordenadas cartesianas (x,y) o polar (r,θ). Si la fuente es compleja y está comprendida de múltiples fuentes que no son localizadas en el mismo punto, es común usar un sistema de coordenadas cartesianas a usar que un sistema de coordenadas polares.

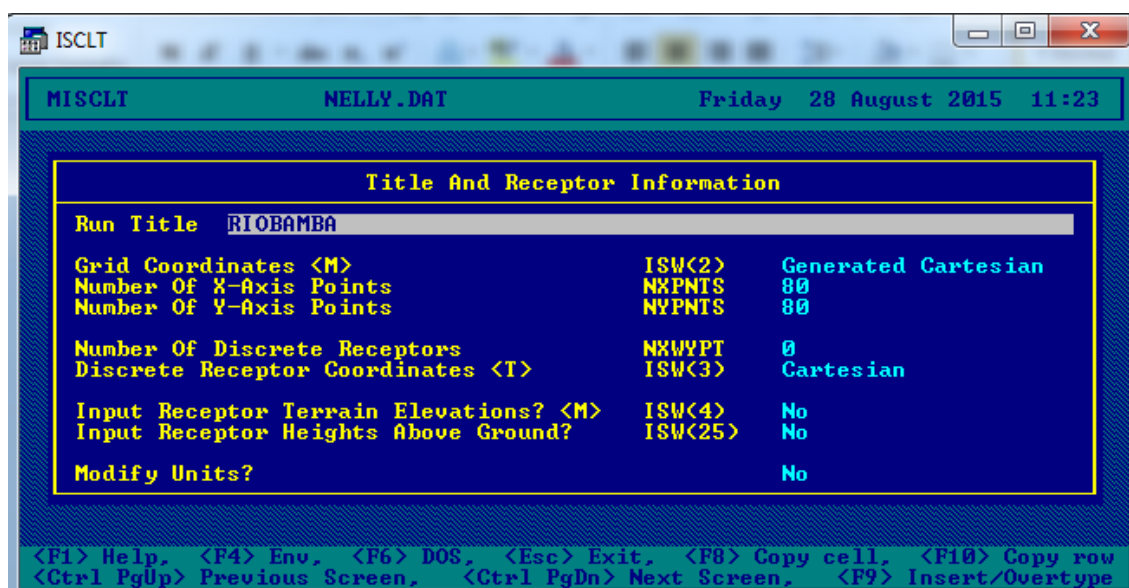


Figura 8-3. Receptores de datos en coordenadas cartesianas usados para el monitoreo.

Fuente: Software Modelo ISCLT.

En el sistema de coordenadas polares, los puntos receptores son usualmente en intervalos de 10 grados en una pista de concentraciones, así, tendremos 36 receptores. La distancia radial desde el origen para la pista del receptor son seleccionadas y generalmente son iguales a las distancias para separar las máximas concentraciones, considerando siempre las estabildades más frecuentes y las velocidades del viento.

A lo cual se puede añadir receptores discretos y condiciones de regularidades superficiales así como receptores sobre el suelo que sirven para monitorear en puntos particulares, estas consideraciones se deben añadir los efectos producidos por la forma de las cimas de las chimeneas y el flujo del contaminante emitido, a través de varios métodos siendo el más usado el de Briggs.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Descripción general de la zona

La ciudad de Riobamba es la capital de la provincia de Chimborazo, se encuentra ubicada en el centro geográfico del país, en la cordillera de los Andes, a 2.750 msnm en el centro de la hoya de Chambo, rodeada de varios volcanes como el Chimborazo, el Tungurahua, Carihuairazo y el Altar.

La ciudad fue fundada el 15 de agosto de 1534 cerca de la laguna de Colta, siendo la primera fundación española en el territorio ecuatoriano. Tras un devastador terremoto en el año de 1797 queda completamente destruida y se traslada en el mismo año hasta el lugar que ocupa hoy en día, convirtiéndose en la primera y única ciudad planificada del Ecuador.

4.1.1. Características de la Zona.

La provincia de Chimborazo se encuentra ubicada en el centro del Ecuador en la región interandina o Sierra, con una extensión de seis mil seiscientos kilómetros cuadrados, tiene una población de cuatrocientos tres mil ciento ochenta y cinco habitantes.

La ciudad de Riobamba según datos oficiales, la ciudad entendida como área urbana tiene 246.891 habitantes, lo que la ubican como la décima ciudad más poblada del país, mientras que todo el cantón posee una población de 298.412 habitantes.³ La superficie delimitada por el perímetro urbano de la ciudad es de aproximadamente 45 km².

a) Geología regional.

La ciudad de Riobamba se encuentra dentro de la formación que constituye la fase laharítica del Chimborazo como resultado del arrastre del material piroclástico, desde las faldas del volcán por las corrientes de los deshielos. Estos flujos de lodo cubren

superficies muy amplias formando planicies, interrumpidas únicamente por pequeñas colinas donde existen acumulaciones grandes.

En algunos sectores presenta cierta estratificación. Riobamba está en una zona de topografía plana meseta, se los conoce con el nombre de basalto mesetas; están constituidas por lava basálticas. En nuestro caso tenemos que esta zona aplanada – meseta, está conformada por productos piroclásticos.

b) Hidrografía.

Riobamba pertenece al gran sistema hidrográfico del río Pastaza, que constituye parte de la vertiente oriental del Amazonas. El río Chambo y sus afluentes Cebadas y Chibunga, los mismos que recogen todas las aguas industriales, negras y el servicio de alcantarillado de la ciudad de Riobamba y otros sectores rurales.

c) Climatología.

La ciudad de Riobamba tiene una temperatura máxima absoluta promedio es de 26,8°C y la mínima promedio es de 12,7°C. Ya que se halla ubicada a 78°40” de longitud oeste; y 1°38’ de latitud sur y a una altura de 2750 metros sobre el nivel del mar.

d) Aspectos demográficos.

d.1 Población.

Datos del censo del mes de noviembre del 2001 se establece que la población es de 246.891 Habitantes, siendo 58 890 la población de hombres y 65 917 la población de mujeres.

d.2 Actividad Económica.

Dentro de la población económicamente activa, el índice de ocupación llegó al 96,4 % (21.887 personas), con un consiguiente índice de desocupación del 3,6 por ciento debe considerarse, sin embargo, que al interior de los ocupados aparecen los sub ocupados.

4.2 . Resultados obtenidos.

4.2.1 *Datos Meteorológicos.*

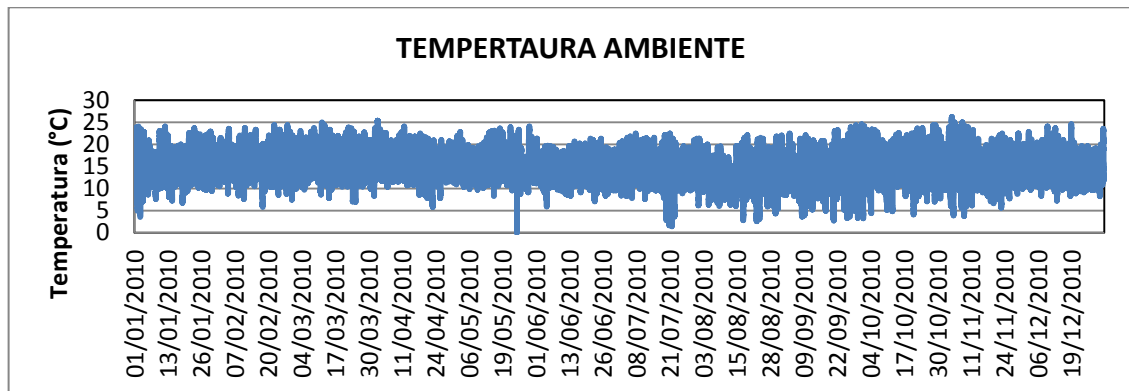


Gráfico 1-4. Datos de temperatura

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

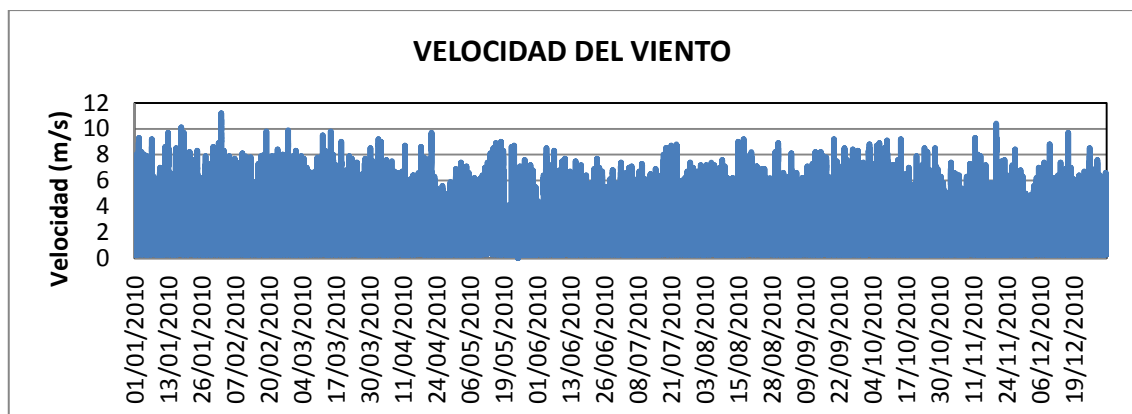


Gráfico 2-4. Datos de velocidad del viento

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

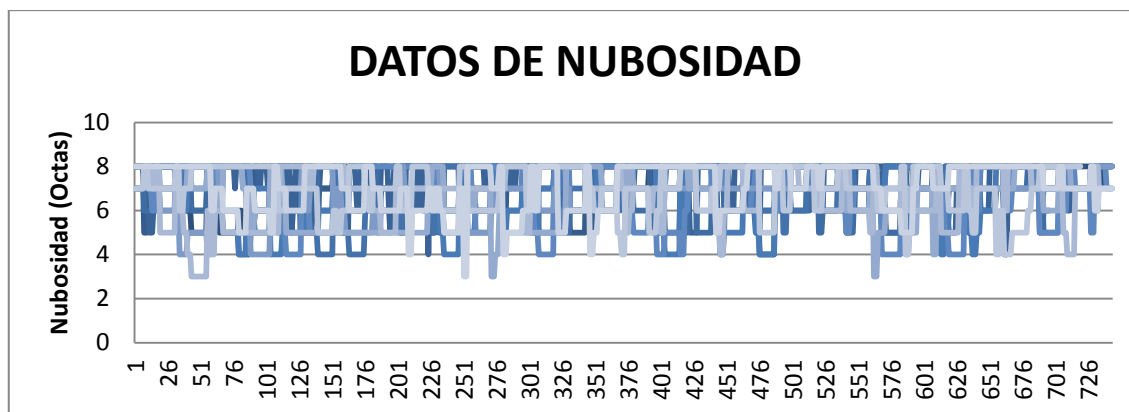


Gráfico 3-4. Datos de nubosidad

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

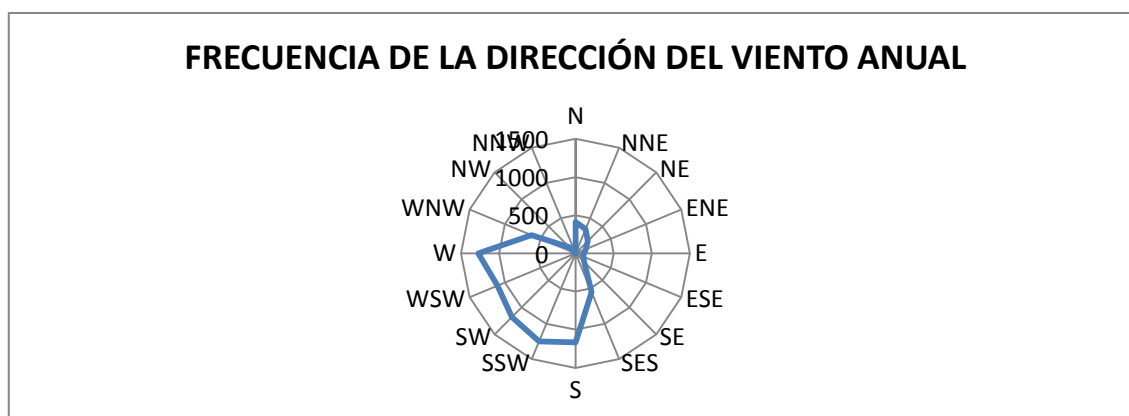


Gráfico 4-4. Datos de dirección del viento

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

En el gráfico 4- 4 se puede observar que existe mayor frecuencia de la dirección del viento hacia el Sur y Oeste.

4.2.2 *Resultados por días*

Tabla 1-4. Caracterización de parámetros meteorológicos por día.

DIA	Temperatura	Velocidad	Dirección del viento	Nubosidad	Velocidad de Fricción	Flujo de Calor Latente	Flujo de Calor Superficial	Flujo de Calor Sensible	Radiación Neta
1	12,91	2,14	9,65	7,37	0,59	38,68	20,40	137,99	197,07
2	13,05	2,37	8,32	7,02	0,59	42,32	25,31	151,24	218,86
3	13,07	2,46	9,21	6,89	0,55	41,90	25,11	160,48	227,49
4	12,75	2,28	9,08	6,55	0,55	37,85	20,36	156,04	214,25
5	13,08	2,34	9,49	6,59	0,54	36,50	20,37	177,69	234,56
6	13,43	2,36	9,55	6,57	0,48	35,90	22,00	182,52	240,42
7	13,40	2,25	9,91	6,57	0,52	35,45	21,15	161,61	218,21
8	13,27	2,11	10,30	6,69	0,50	38,33	24,13	135,54	198,01
9	13,01	2,07	9,90	6,90	0,59	39,74	21,09	152,23	213,06
10	13,02	2,33	9,29	6,90	0,58	43,01	25,86	140,59	209,45
11	13,18	2,33	9,74	6,72	0,54	35,15	18,91	163,18	217,24
12	13,18	2,54	9,35	6,86	0,52	34,80	19,27	167,40	221,47
13	13,20	2,34	9,76	6,89	0,51	36,48	22,13	151,88	210,50
14	13,19	2,23	9,99	6,87	0,55	35,92	20,12	154,38	210,42

DIA	Temperatura	Velocidad	Dirección del viento	Nubosidad	Velocidad de Fricción	Flujo de Calor Latente	Flujo de Calor Superficial	Flujo de Calor Sensible	Radiación Neta
15	13,16	2,25	9,93	7,06	0,51	37,11	22,29	132,14	191,54
16	13,21	2,12	10,30	7,21	0,54	38,24	22,08	137,04	197,35
17	13,13	2,06	10,20	6,92	0,55	33,12	16,77	155,02	204,92
18	13,31	2,24	9,77	7,18	0,55	40,45	25,65	147,29	213,40
19	13,16	2,36	10,05	7,05	0,54	35,54	20,22	158,41	214,17
20	12,83	2,08	9,78	7,07	0,52	40,28	26,38	130,86	197,52
21	13,13	2,03	9,77	7,15	0,54	34,98	18,76	153,48	207,22
22	13,53	2,05	10,24	7,31	0,54	34,98	17,93	149,96	202,87
23	13,51	2,19	9,51	7,11	0,56	37,47	21,16	171,99	230,62
24	13,65	2,33	10,11	6,83	0,54	38,58	22,08	165,28	225,94
25	13,45	2,22	9,94	6,87	0,54	41,31	24,31	162,38	228,00
26	13,68	2,38	9,64	6,86	0,57	39,75	22,89	176,72	239,35
27	13,64	2,39	9,26	7,01	0,54	41,15	25,83	182,49	249,48
28	13,29	2,36	9,43	7,32	0,55	38,74	23,33	161,68	223,75
29	12,95	2,31	9,65	7,29	0,56	34,76	19,42	170,58	224,76
30	12,67	2,01	9,88	7,15	0,48	39,33	25,45	145,12	209,91
31	12,94	2,06	9,95	7,42	0,63	46,88	27,82	117,86	192,56

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.
Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

En la tabla 1-4.- Se presenta los valores de los datos meteorológicos reportado por días a lo largo del año en los diferentes meses, de temperatura, velocidad del viento, dirección del viento, nubosidad medidos en las estaciones meteorológicas y los datos micro meteorológicos calculados con el modelo ESTAB de Van Ulden Hostlang, la velocidad de fricción, flujo de calor latente , flujo de calor superficial, flujo de calor sensible y radiación neta, donde se observa como estos parámetros están relacionados entre ellos, en los diferentes días hay poca variación en cada uno de ellos lo que implica que por la posición geográfica de Riobamba, cerca de la línea ecuatorial, en los días estos no varían significativamente, lo que se verifica en los Gráficos de la 5-4 a la 11-4.

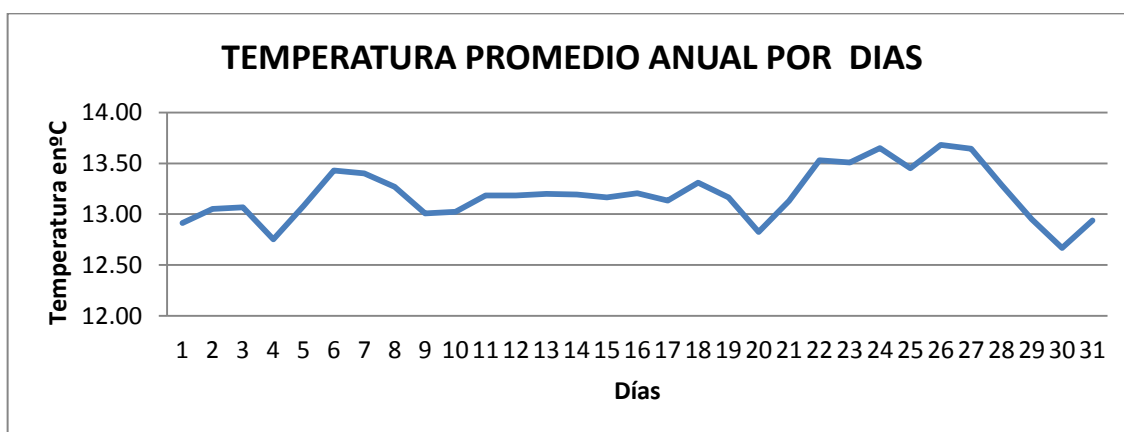


Gráfico 5-4. Temperatura promedio anual por días

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

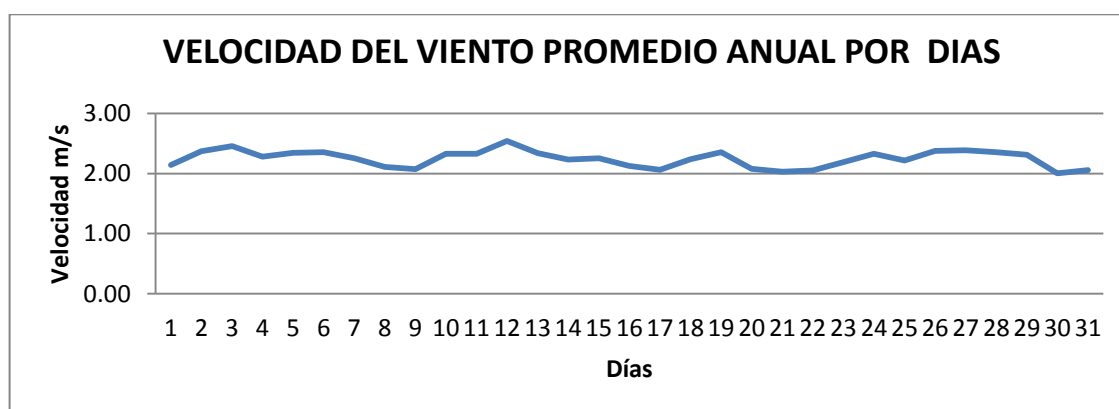


Gráfico 6-4. Velocidad del viento anual por días.

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

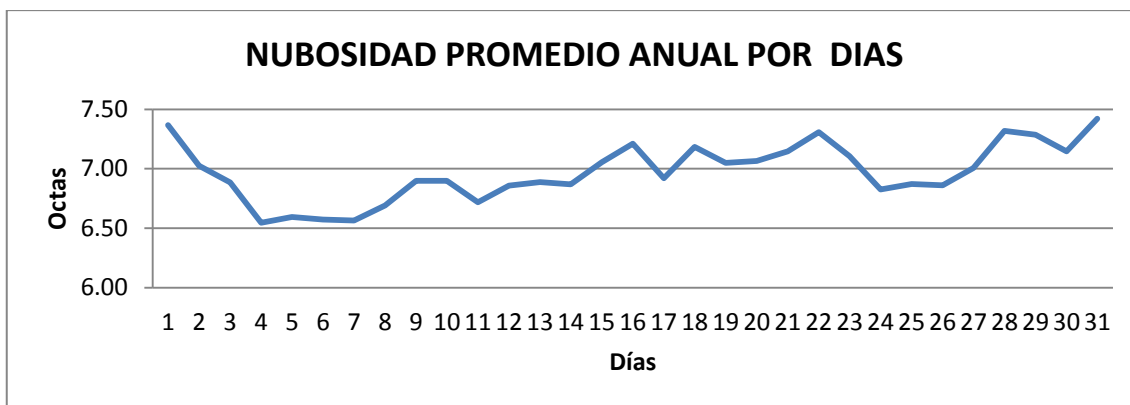


Gráfico 7-4. Nubosidad promedio anual por días.

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

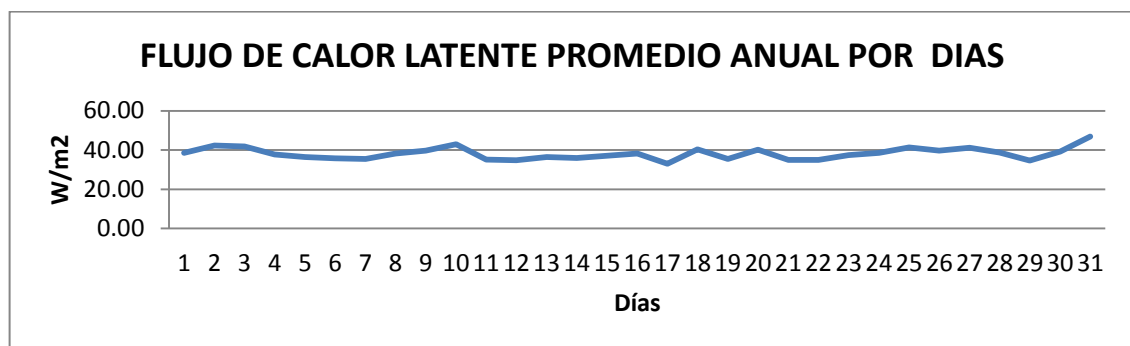


Gráfico 8-4. Flujo de calor latente promedio anual por días.

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

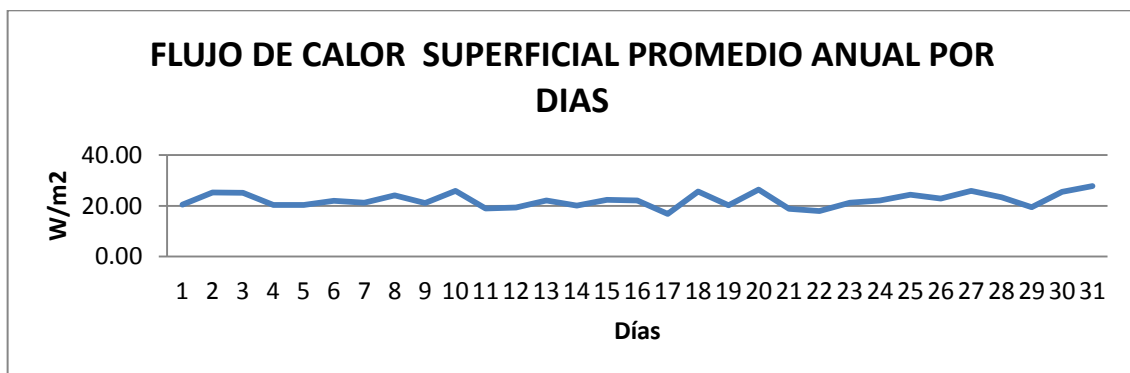


Gráfico 9-4. Flujo de calor superficial promedio anual por días.

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

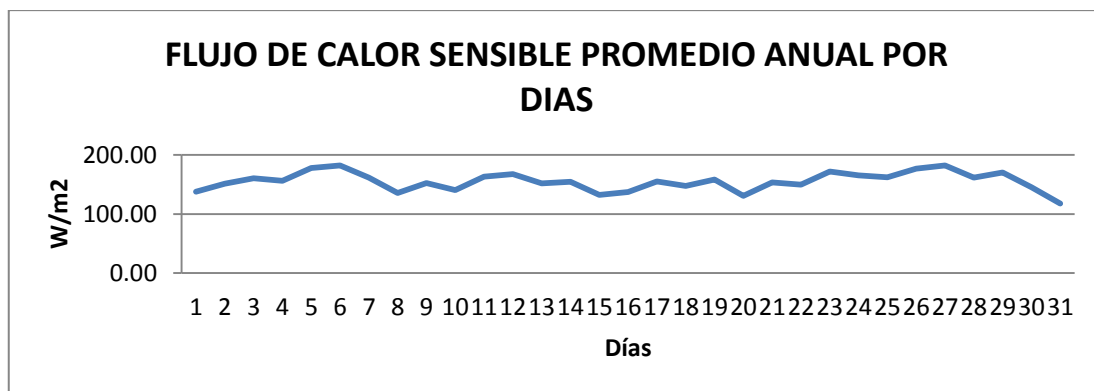


Gráfico 10-4. Flujo de calor sensible promedio anual por días.

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

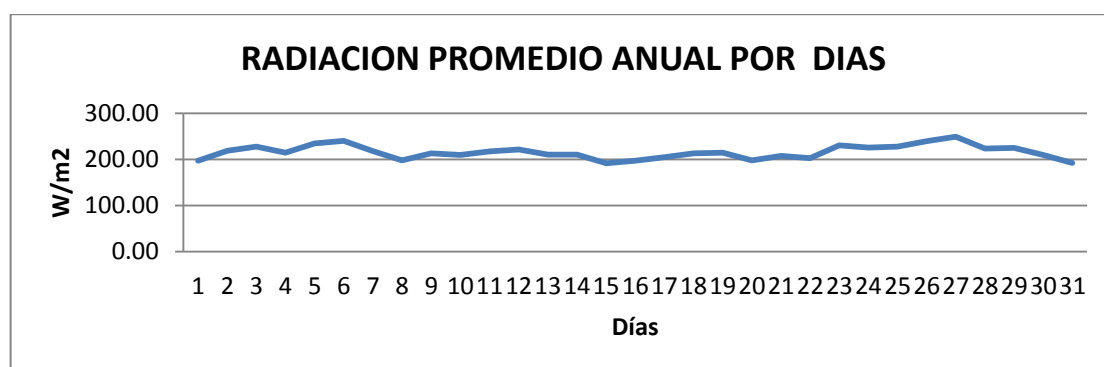


Gráfico 11-4. Radiación promedio anual por días.

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

4.2.3 Resultados por hora

Tabla 1-4. Caracterización de datos meteorológicos por hora

HORA	Temperatura	Velocidad	Dirección del viento	Nubosidad	Velocidad de	Flujo de Calor	Flujo de Calor	Flujo de Calor	Radiación Neta
1	10,2912568	1,15983607	9,5136612	6,87704918	0,47163907	-3,49354699	-19,6795407	23,7184429	0,54535519
2	10,0710383	1,07786885	9,69125683	6,8852459	0,50471257	-3,46479153	-21,5318719	25,0472098	0,05054645
3	9,89016393	1,04262295	9,13661202	6,89071038	0,50059699	-3,0997959	-21,7083642	24,8081601	0
4	9,70491803	0,97213115	8,92349727	6,89344262	0,47271148	-3,7688235	-21,463627	25,2324505	0
5	9,54699454	0,91530055	8,6420765	6,89617486	0,4982459	-2,83684098	-22,1141011	24,9509421	0
6	9,37896175	0,94180328	8,36612022	6,89617486	0,51944836	-3,01676011	-23,4204566	33,1675445	6,73032787
7	10,0702186	0,85901639	8,46721311	7,35245902	0,53931066	-2,86488716	-24,148377	107,99851	80,9852459
8	11,7598361	1,03278689	10,5956284	7,34972678	0,59669918	-3,92169126	-27,4847126	274,746841	243,340437
9	13,5300546	1,58934426	10,6202186	7,34972678	0,55748661	-3,50972268	-25,646162	481,816814	452,660929
10	15,2180328	2,07240437	10,7240437	7,06830601	0,52911858	-3,51280164	-24,6219292	655,006589	626,871858
11	16,6439891	2,81612022	10,3797814	7,07923497	0,55490874	-3,34798579	-25,6405609	763,039093	734,050546
12	17,6693989	3,67459016	9,85245902	7,06557377	0,57870027	-3,38375164	-26,8488292	741,715368	711,482787
13	18,3322404	4,33442623	9,46721311	6,94262295	0,55885956	0,95640082	-20,3061768	745,160705	725,810929
14	18,4685792	4,69590164	9,18852459	6,93169399	0,60434617	33,9757418	23,1320566	571,827721	628,935519
15	18,1043716	4,78224044	9,26502732	6,93169399	0,54979317	62,6187421	61,0900858	360,521227	484,230055
16	17,4489071	4,6636612	8,87978142	6,8579235	0,56551831	86,0053257	84,0090749	153,347621	323,362022
17	16,3620219	4,21311475	9,08196721	6,86065574	0,50921585	105,161231	102,623864	-70,684003	137,101093
18	14,710929	3,38306011	9,50819672	6,85519126	0,53709372	119,258131	111,430993	-216,622457	14,0666667
19	13,3098361	2,31120219	10,715847	6,84153005	0,56556311	139,241873	126,860626	-263,269986	2,83251366
20	12,3174863	1,91775956	10,8142077	6,87431694	0,53089836	120,998645	105,973055	-224,662957	2,30874317
21	11,6445355	1,67131148	10,6639344	6,87978142	0,60491967	121,197265	103,447951	-222,58456	2,06065574
22	11,113388	1,3942623	10,2868852	6,86885246	0,56150328	87,3750112	72,067353	-156,766408	2,67595628
23	10,7153005	1,28196721	10,1775956	6,86885246	0,57163443	56,9884945	41,0348495	-96,7113221	1,31202186
24	10,4693989	1,13661202	9,92896175	6,88251366	0,54919918	20,7219112	3,99205437	-23,1893754	1,52459016

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

En la tabla 3-4, se presenta los valores de los datos meteorológicos reportado por horas a lo largo del año en los diferentes meses, de temperatura, velocidad del viento, dirección del viento, nubosidad medidos en las estaciones meteorológicas y los datos micrometeorológicos calculados con el modelo ESTAB de Van Ulden Hostlang de velocidad de fricción, flujo de calor latente , flujo de calor superficial, flujo de calor sensible y radiación neta, donde se observa como estos parámetros varían significativamente entre ellos a diferencia del caso anterior, lo que indica que la variación de estos parámetros principalmente se da entre horas, lo que se verifica en los gráficos del 12-4 al 18-4.

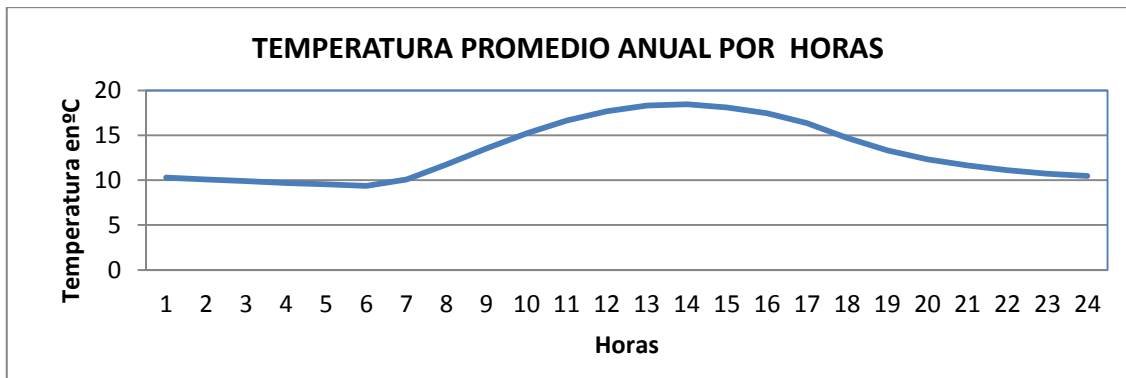


Gráfico 12-4 . Temperatura promedio anual por horas.

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.
Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

En el gráfico 12-4 se puede observar que la temperatura promedio anual por horas la máxima temperatura se da a las 13 horas en un intervalo de temperatura de 17°C a 19°C en la ciudad de Riobamba.

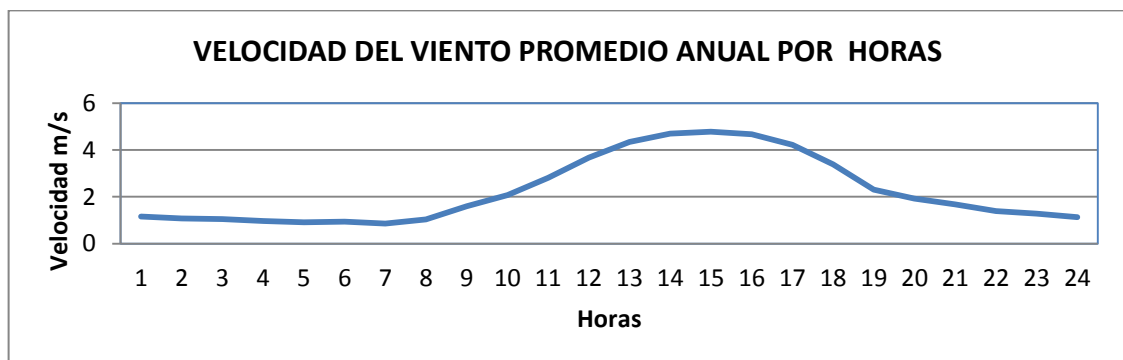


Gráfico 13-4. Velocidad del viento promedio anual por horas.

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.
Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

En el gráfico 13-4 se puede observar que la velocidad del viento promedio anual por horas máximo se da entre la 13:00 y 17:00 de la tarde en un intervalo de velocidad de 4 m/s a 5m/s en la ciudad de Riobamba.

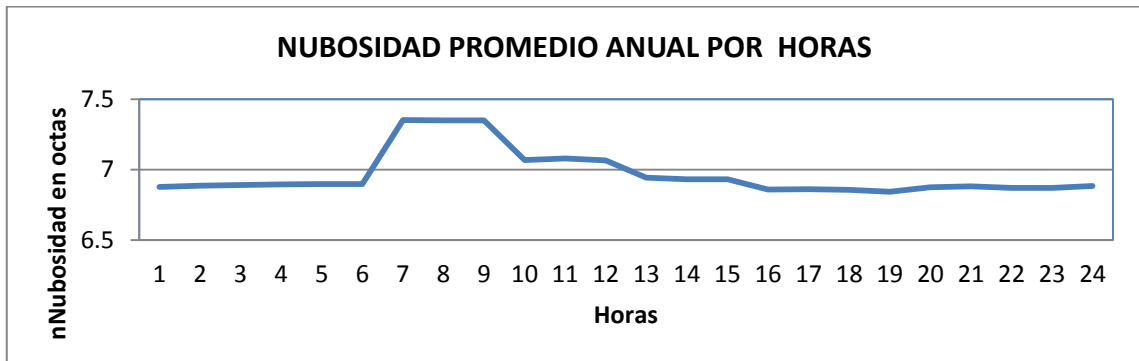


Gráfico 14-4. Nubosidad promedio anual por horas

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.
Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

En el gráfico 14-4 se puede observar que el máximo de nubosidad promedio anual por horas se da entre las 7 y 9 de la mañana en la ciudad de Riobamba.

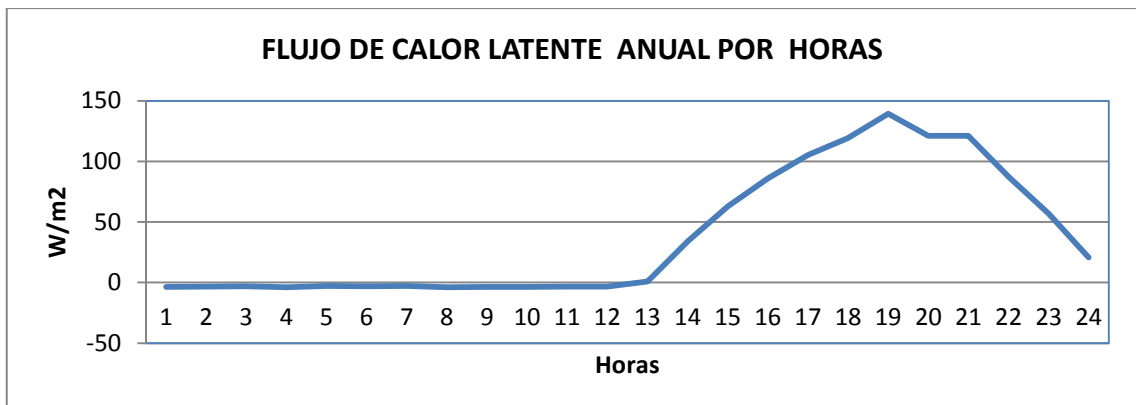


Gráfico 15-4. Flujo de calor latente anual por horas

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.
Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

En el gráfico 15-4 se observa el máximo de flujo de calor latente anual por horas entre las 17:00 y 18:00 en la ciudad de Riobamba, es decir cuando hay transferencia de vapor de agua cuando las moléculas de agua se evaporizan.

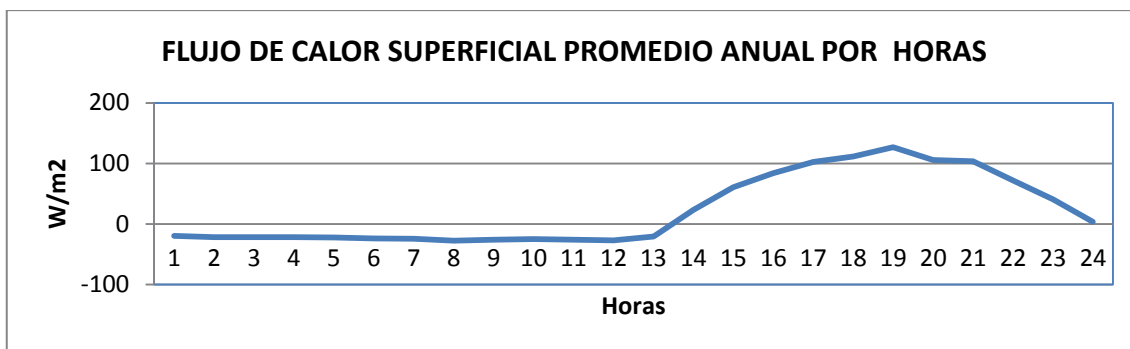


Gráfico 16-4. Flujo de calor superficial promedio anual por horas.

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

En el gráfico 16-4 se observa el máximo de flujo de calor superficial anual por horas entre las 18:00 y 19:00 en la ciudad de Riobamba, es decir cuando la superficie terrestre se calienta debido a la radiación Solar y esta energía es transferida en la atmosfera.

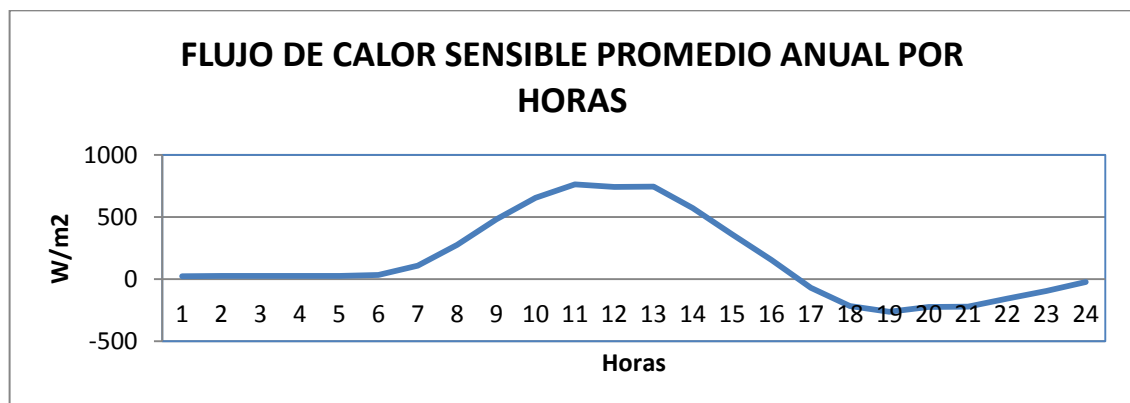


Gráfico 17-4. Flujo de calor sensible promedio anual por horas

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

En el gráfico 17-4 se observa el máximo de flujo de calor sensible anual por horas entre las 10:00 y 13:00 en la ciudad de Riobamba, es decir cuando el aire más caliente se transfiere de un lugar a otro.

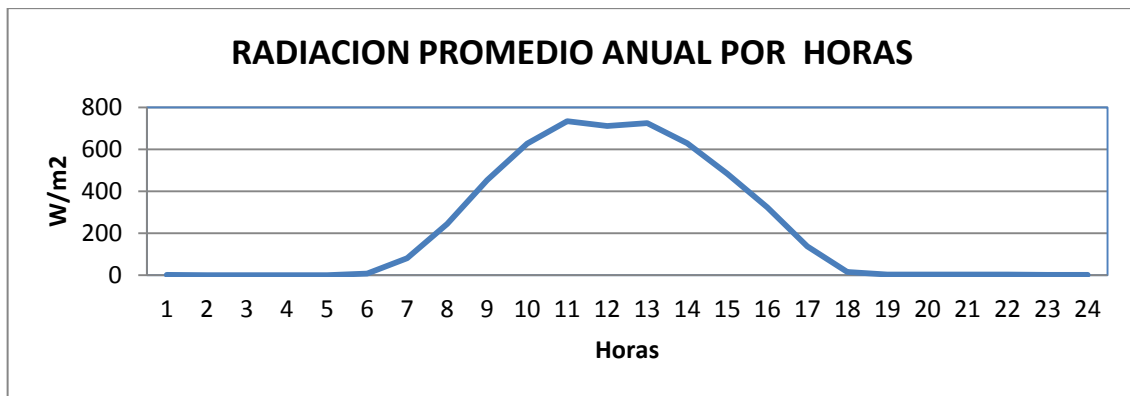


Gráfico 18-4. Radiación promedio anual por horas

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

En el gráfico 18-4, se observa que el máximo de Radiación se da entre 10:00 de la mañana y las 13:00 en la ciudad de Riobamba.

4.2.4 Resultados por mes

Tabla 2-4. Caracterización de datos meteorológicos por mes

Mes	Temperatura	Velocidad	Dirección del viento	Nubosidad	Velocidad de Fricción	Flujo de Calor Latente	Flujo de Calor	Flujo de Calor Sensible	Radiación Neta
1	13,8401882	2,47580645	10,0026882	7,24865591	0,54913172	40,2867884	23,1945879	136,634081	200,115457
2	13,2509326	2,00229555	9,45624103	7,40315638	0,57384146	39,1865313	23,6761436	131,244212	194,106887
3	13,8158389	2,43758389	9,99463087	7,47785235	0,52382389	36,4367901	20,4002624	161,352343	218,189396
4	13,5722222	1,70208333	9,88333333	6,80138889	0,52550958	38,3672699	23,7036256	143,483966	205,554861
5	13,8803763	1,99180108	9,90053763	7,05510753	0,53169247	38,4930309	22,3829247	163,222028	224,097984
6	12,1280556	2,1275	10,6083333	6,68888889	0,54635014	36,8159986	22,9783338	137,838584	197,632917
7	12,7502688	2,63897849	9,00268817	6,70967742	0,5386043	41,9427116	25,4694835	188,195869	255,608065
8	12,3038978	2,55604839	10,0013441	6,74327957	0,54682957	35,5172609	20,4932837	173,882063	229,892608
9	12,2394444	2,51444444	9,91805556	6,61527778	0,54932514	37,1656794	21,5720328	152,625204	211,362917
10	13,4688172	1,95900538	9,13978495	6,75537634	0,54898226	36,2244	18,3387887	170,084123	224,647312
11	13,61375	2,29722222	9,20416667	7,00694444	0,53516431	38,4483106	21,9690522	163,943748	224,361111
12	13,4783602	2,23978495	9,35215054	7,09677419	0,54943199	38,1346067	21,3175313	143,680389	203,132527

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

En la tabla 3-4, se presenta los valores de los datos meteorológicos reportado por meses a lo largo del año, de temperatura, velocidad del viento, dirección del viento, nubosidad medidos en las estaciones meteorológicas y los datos micrometeorológicos calculados con el modelo ESTAB de Van Ulden Hostlang de velocidad de fricción, flujo de calor latente , flujo de calor superficial, flujo de calor sensible y radiación neta, donde se observa como estos parámetros varían muy poco dado que por la posición geográfica, prácticamente no se puede distinguir las estaciones a diferencia de las latitudes medias, lo que se verifica en los gráficos del 19-4 al 25-4.

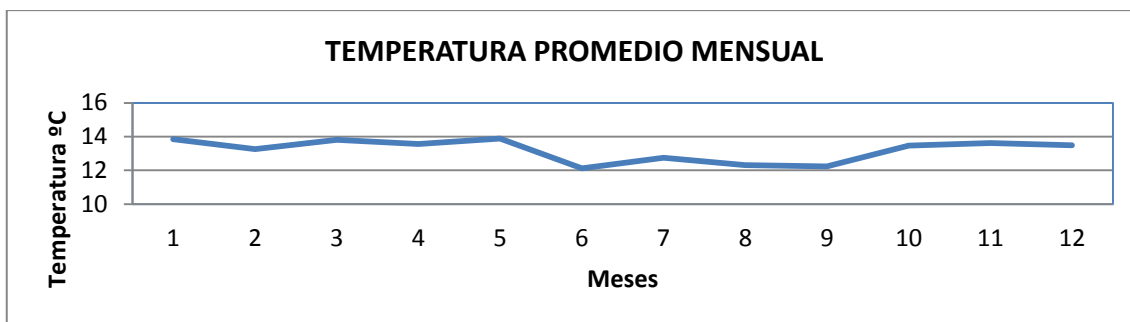


Gráfico 19-4. Temperatura promedio mensual

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

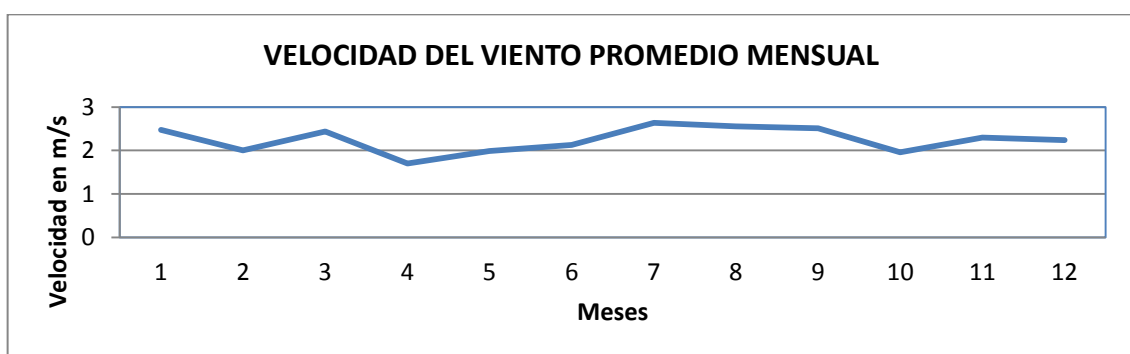


Gráfico 20-4. Velocidad del viento promedio mensual

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

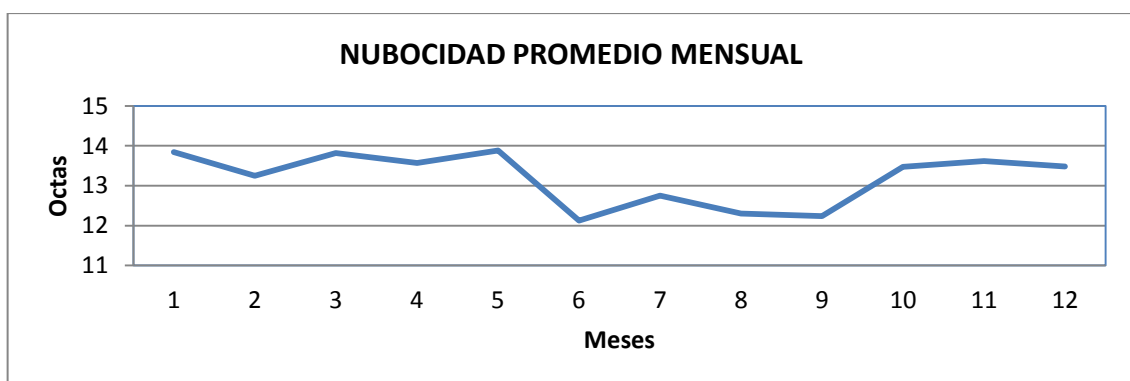


Gráfico 21-4. Nubosidad promedio mensual.

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

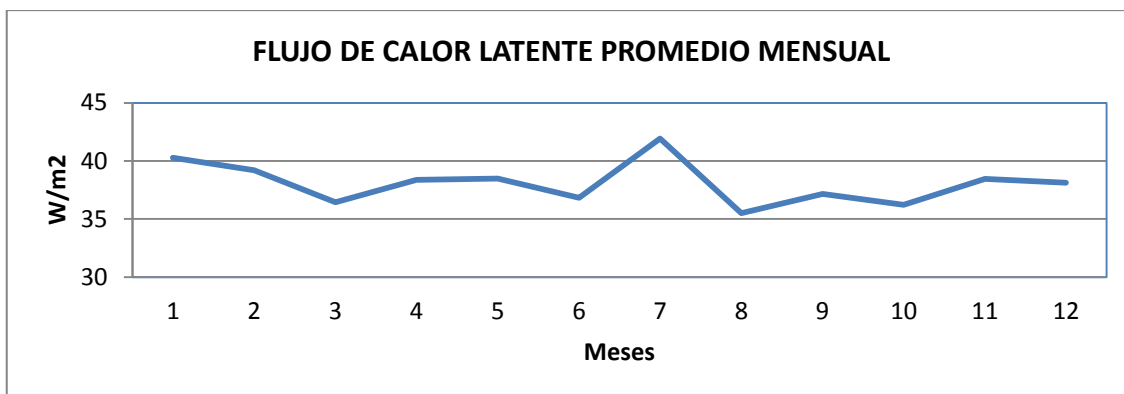


Gráfico 22-4. Flujo de calor latente promedio mensual

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

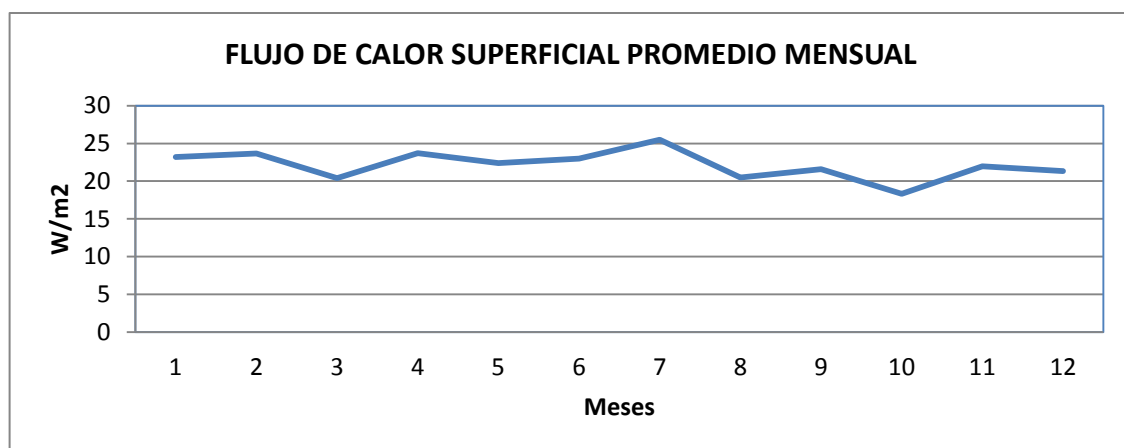


Gráfico 23-4. Flujo de calor superficial promedio mensual.

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

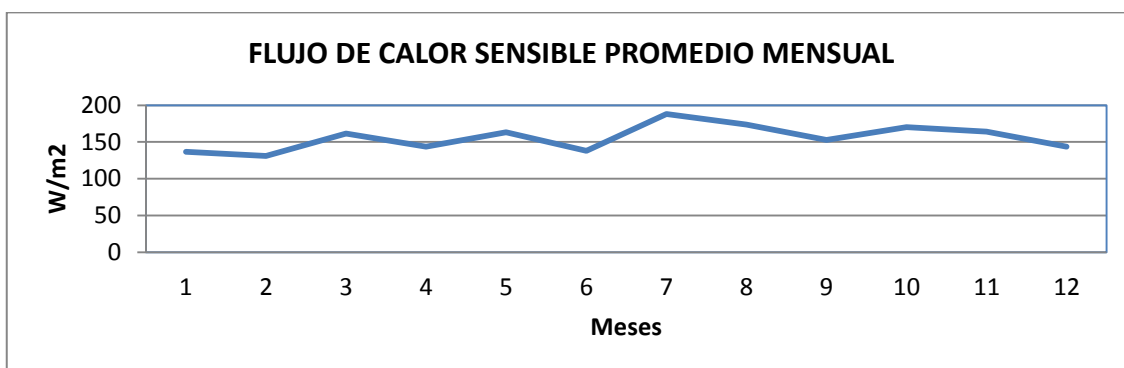


Gráfico 24-4. Flujo de calor sensible promedio mensual

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

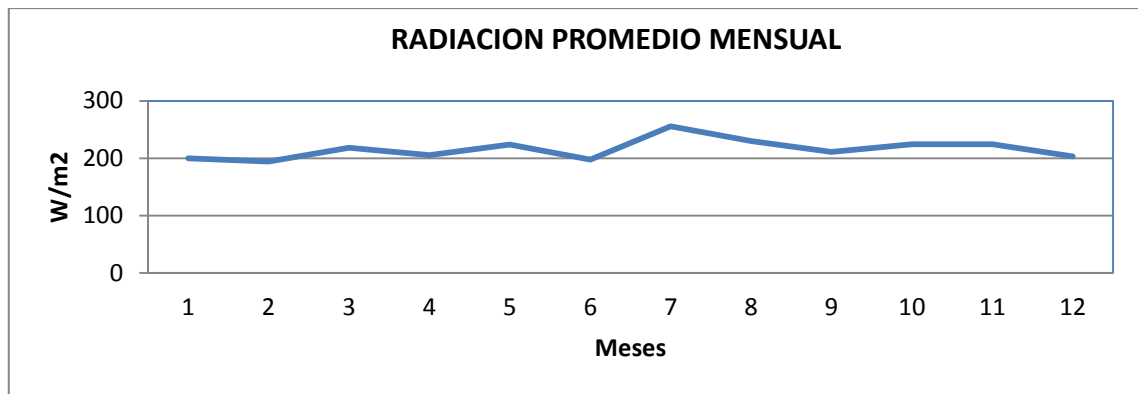


Gráfico 25-4. Radiación promedio mensual.

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

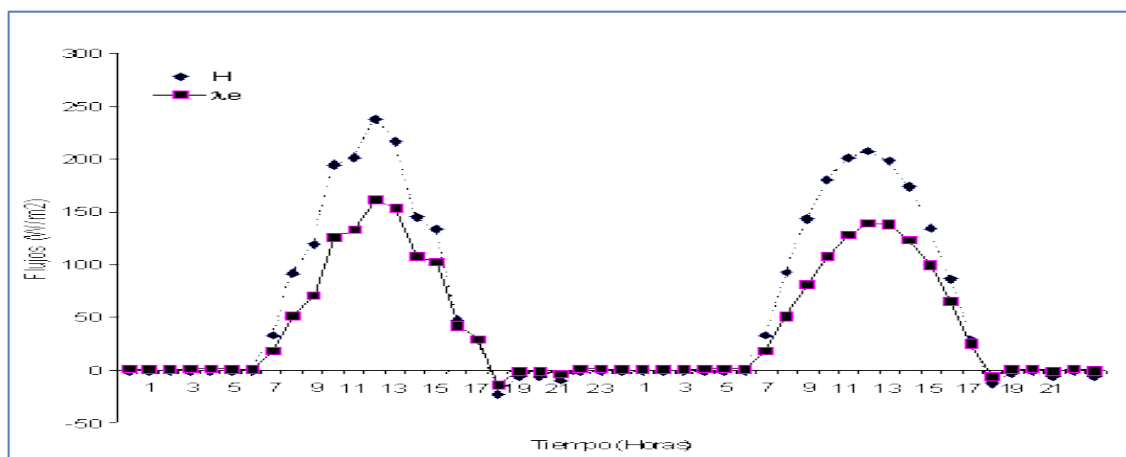


Gráfico 26-4. Radiación promedio por horas

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

En el Gráfico 26-4 se puede observar el máximo de radiación entre los dos días se da entre las 10:00 de la mañana a 13:00 de la tarde en la ciudad de Riobamba.

4.2.5 *Estabilidad atmosférica*

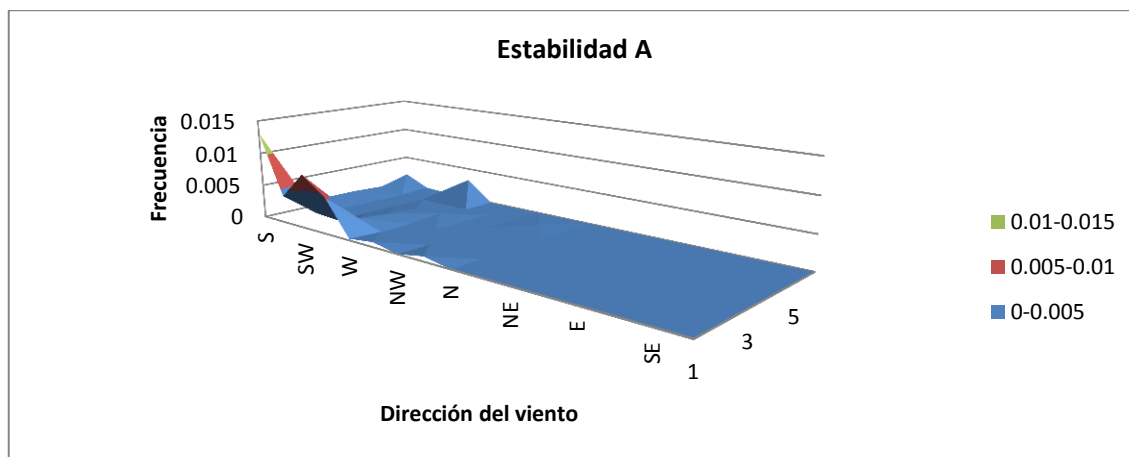


Gráfico 27-4. Resultados de estabilidad extremadamente inestable (A) según Pasquill, en función de la dirección del viento y velocidad del viento.

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.
Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

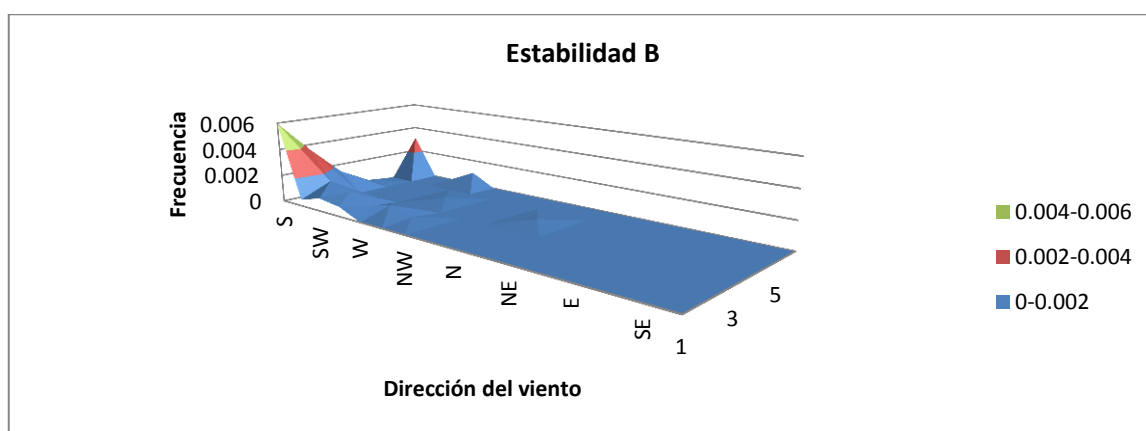


Gráfico 28-4. Resultados de estabilidad moderadamente inestable (B) según Pasquill, en función de la dirección del viento y velocidad del viento.

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.
Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

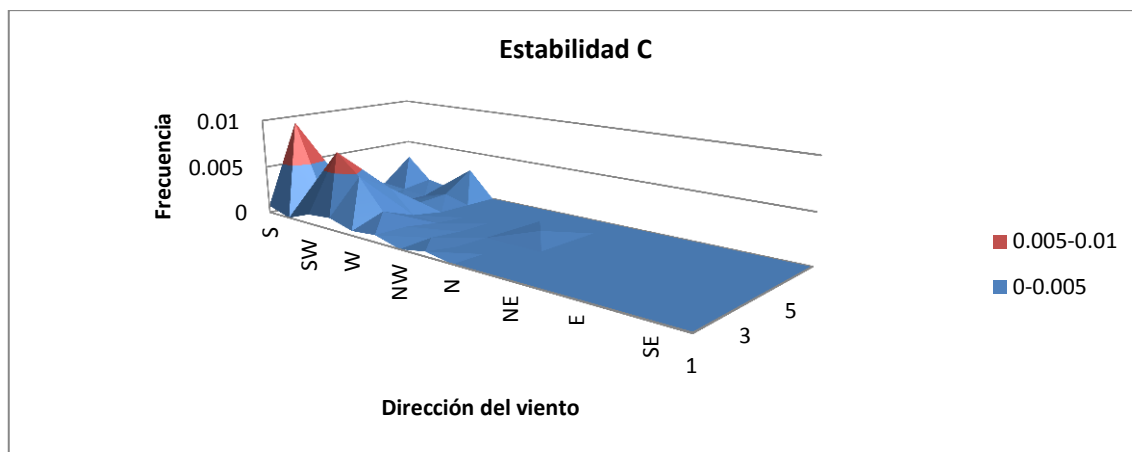


Gráfico 29-4. Resultados de estabilidad inestable (C) según Pasquill, en función de la dirección del viento y velocidad del viento.

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.
Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

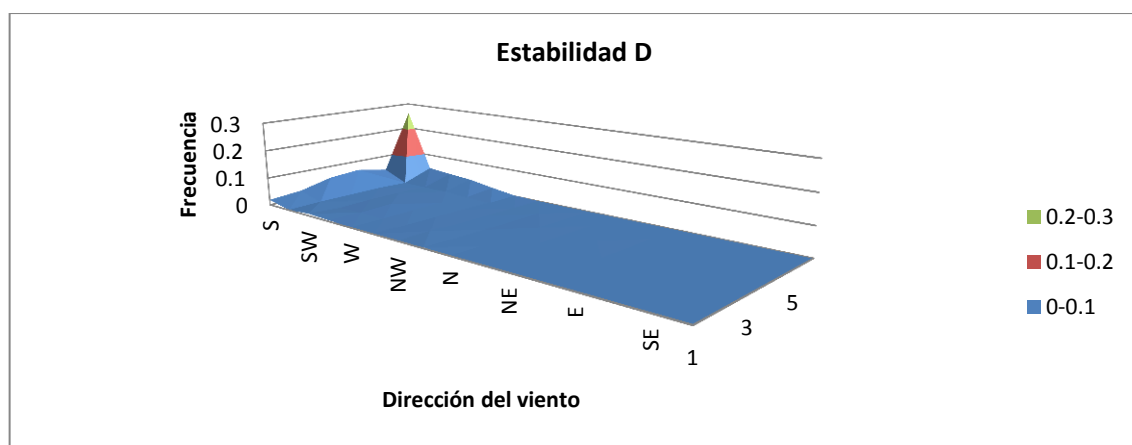


Gráfico 30-4. Resultados de estabilidad neutra o adiabática (D) según Pasquill, en función de la dirección del viento y velocidad del viento.

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.
Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

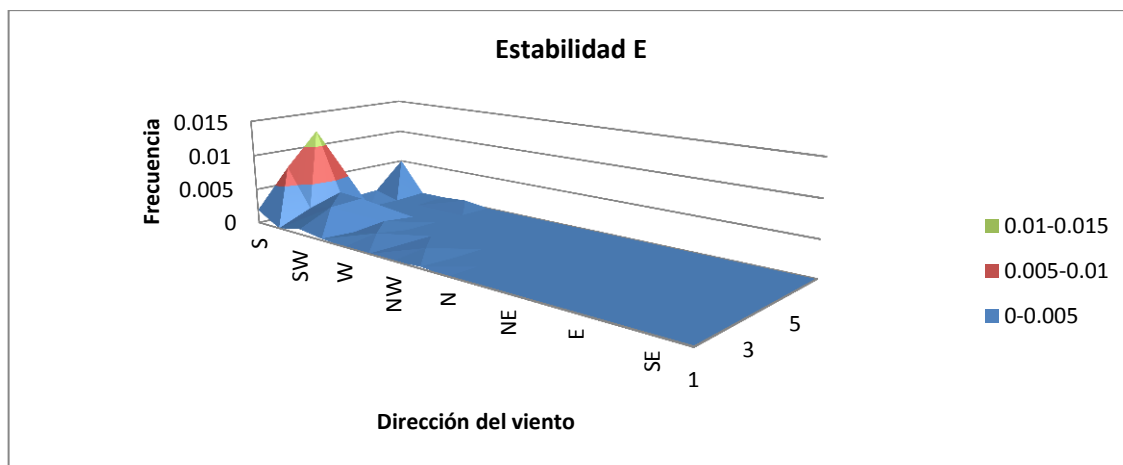


Gráfico 31-4. Resultados de estabilidad estable (E) según Pasquill, en función de la dirección del viento y velocidad del viento.

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

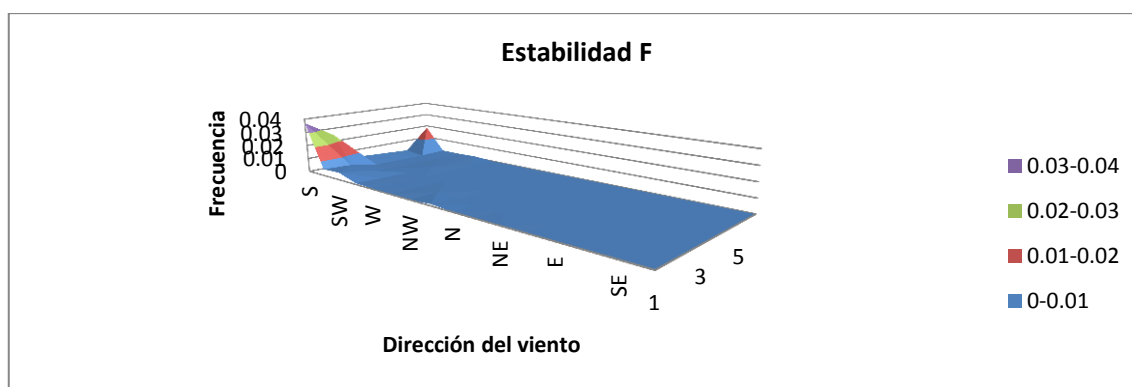


Gráfico 32-4. Resultados de estabilidad moderadamente estable (F) según Pasquill, en función de la dirección del viento y velocidad del viento.

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

En los Gráficos 27-4 al 32-4 se muestra la distribución de la frecuencia de estabilidad en función de la dirección del viento y diferentes valores de velocidad, las cuales representan como variara la distribución de contaminación en estas diferentes condiciones, con prevalencia clara en el caso neutro (estabilidad D) con direcciones predominantes que se dirigen hacia el sur oeste.

4.2.6 *Dispersión de contaminante*

Tabla 3-4. Datos de fuente medias usadas en el modelo de difusión ISCLT.

Parámetros	Medidas
Altura de la chimenea	15 m
Altura respecto al nivel del mar	2700 m
Temperatura de emisión	370 °K
Diámetro de la chimenea	1 m
Altura de la fábrica	6 m
Proyección de la fábrica	49 m

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

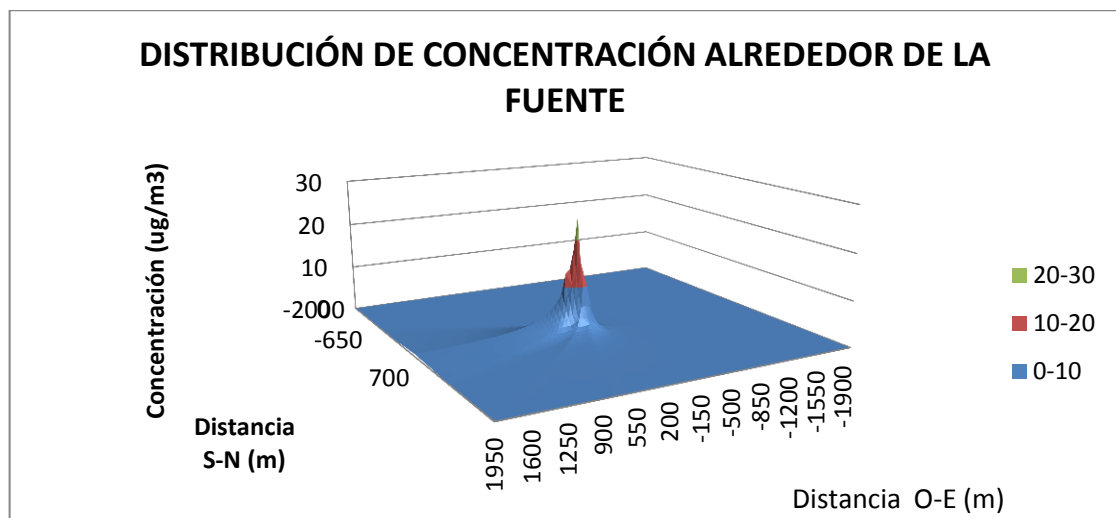


Gráfico 33-4. Distribución de concentración de contaminantes alrededor de la fuente

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Nelly Patricia Perugachi Cahueñas.

En el gráfico 33-4, se presenta la distribución relativa de contaminantes alrededor de la fuente donde se observa claramente un máximo de concentración hacia el sur oeste, hacia donde soplan predominantemente los vientos en la zona de la ciudad de Riobamba.

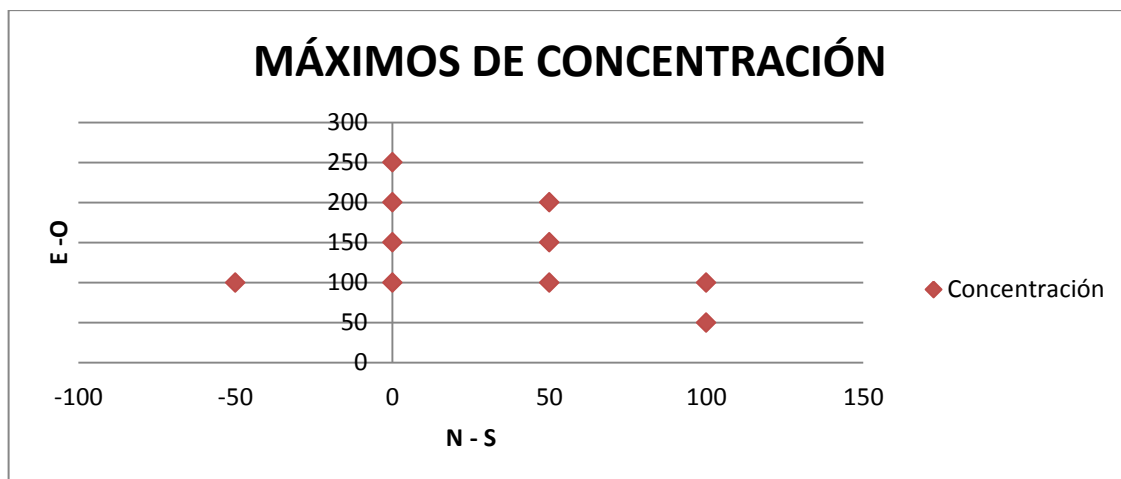


Gráfico 34-4. Máximos de concentración alrededor de la fuente.

Fuente: Datos Estación Meteorológica del Grupo de Energías Alternativas de la ESPOCH.

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

Tabla 4-4. Máximos de concentración tomados desde el Sur y Oeste

X (m)	Y (m)	Concentración (μ/m3)	Concentración relativa (μg/m³)
0	100	24,932	1
0	150	18,13713	0,727463902
50	100	15,62693	0,626782047
0	200	13,78576	0,552934382
0	250	12,86008	0,515806193
50	150	12,70934	0,509760148
100	100	10,81554	0,43380154
50	200	10,49593	0,420982272
100	50	10,17845	0,408248436
-50	100	9,782646	0,392373095

Elaborado por: Perugachi Cahueñas Nelly Patricia 2015

En el gráfico 34-4 y Tabla 4-4, se ve claramente que los máximos de concentración se dirigen principalmente hacia el sur oeste, dado la predominancia de la dirección del viento en esa dirección, razón por la cual hay más puntos de máximo en la misma, cabe recalcar que el sistema tomado en nuestro caso para representar estos puntos es hacia el sur oeste por la dirección del viento.

Tabla 5-4. Máximos de concentración según norma de emisiones, calculado para las condiciones de la ciudad de Riobamba.

		EMISIONES		INMISIONES (AIRE AMBIENTE) EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA	
Contaminante	Combustible	Fuente fija existente: con autorización de entrar en funcionamiento hasta marzo de 2013 (mg/Nm ³)	Fuente fija nueva: en funcionamiento a partir marzo de 2013 (Nm ³)	Concentración Máxima Fuentes antiguas (hasta 2013) en (ug/m ³)	Concentración Máxima fuentes nuevas (después de 2013) en (ug/m ³)
Material particulado	Sólido sin contenido de azufre	200	70	1,99	0,70
	Fuel oil	200	50	1,99	0,50
	Diesel	150	50	1,50	0,50
Óxidos de nitrógeno	Sólido sin contenido de azufre	900	600	8,98	5,98
	Fuel oil	700	400	6,98	3,99
	Diesel	500	400	4,99	3,99
	Gaseoso	140	140	1,40	1,40
Dióxido de azufre	Fuel oil	1650	1650	16,46	16,46
	Diesel	1650	1650	16,46	16,46
Monóxido de carbono	Sólido sin contenido de azufre	1800	1800	17,95	17,95
	Fuel oil	300	120	2,99	1,20
	Diesel	250	120	2,49	1,20
	Gaseoso	100	80	1,00	0,80

Fuente: Datos Norma nacional de emisiones de fuentes fijas y concentraciones aire ambiente máximas calculadas con el modelo ISCLT para la ciudad de Riobamba.

En la tabla 5-4, se observa las concentraciones máximas de emisión que se encontraría en una fuente de emisiones en la ciudad de Riobamba en fuentes fija existente: con autorización de entrar en funcionamiento hasta marzo de 2013 y Fuente fija nueva: en funcionamiento a partir marzo de 2013, para material particulado, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y monóxido de carbono, dados para diferente combustibles en la norma nacional de emisiones al aire.

CONCLUSIONES

- ✓ Se determinó la distribución de contaminantes de contaminantes alrededor de la fuente aplicando el modelo matemático gaussiano ICSLT, con el cual se determina la dirección predominante de contaminación hacia el sur oeste.
- ✓ La caracterización meteorológica establece la dirección del viento, hacia el Suroeste (SW), lo que conlleva a que el contaminante en la ciudad de Riobamba sea trasladado en esa dirección.
- ✓ Mediante el programa ESTAB se determinó la estabilidad atmosférica, cuyo estado predominante en la zona de la ciudad de Riobamba es el estado neutro según la clasificación de Pasquill.
- ✓ Los cálculos de dispersión relativos hallados mediante la aplicación del modelo Gaussiano, según las normas de emisión de fuentes fijas, determinaron los máximos de concentración producidos bajo condiciones meteorológicas de la ciudad de Riobamba.
- ✓ Se determinó que las condiciones física y meteorológicas particulares de la ciudad de Riobamba afecta la difusión de contaminantes atmosféricos lo que demuestra la hipótesis planteada.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda continuar con el trabajo para realizar comparaciones de concentraciones de contaminantes en el transcurso del tiempo y la variación de la estabilidad atmosférica.
- ✓ Se recomienda utilizar estos datos como base para el control de la calidad del aire en la ciudad de Riobamba los cuales beneficiará a los habitantes.
- ✓ Para una mayor facilidad de estudio sobre difusión de contaminantes atmosféricos se recomendaría que haya una facilidad y colaboración de parte de las autoridades con información sobre las fuentes de contaminantes atmosféricos.
- ✓ Se recomienda normar el uso de modelos en la ciudad de Riobamba dado que son más económicos que los sistemas de control tradicional en base a equipos altamente costosos.

BIBLIOGRAFÍA:

ALARCON, E. CALLAROTTI, et al. (2000). Modelos Matemáticos en Ingeniería Moderna. Caracas- Venezuela. Universidad Central de Venezuela. pp301-303.

BOUBLEL, R. FOX DONAL, et al. (1990). Fundamentals at Air Pollution. 3^a ed. NewYork - Estados Unidos. Academic Press. pp. 243-362.

CARRARI, C.L. APARICIO, L.V. et al. 2004. “Utilización de modelos de dispersión para la determinación de dosis en la exposición”. Mecánica Computacional. Vol XXIII. Bariloche-Argentina. Latin American applied research. pp 1743-1759.

FIGURUELO,J.E. DAVILA ,M.M. (2004). Química Física del Ambiente y de Procesos Medio Ambientales. Barcelona – España. Reverte. pp. 1-104.

KIELY, G. (2000). Ingeniería Ambiental, Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. 1^a ed. Madrid- España. Mc Graw Hill. pp. 453-524.

MARTINEZ, E. DÍAZ, Y. (2004). Contaminación atmosférica. Cuenca- España. Ediciones de la Universidad de Castilla. pp 13-87.

REYES. S. (2002). Introducción a la Meteorología. Baja California – Mexico. Universidad de Baja California. pp 21-49.

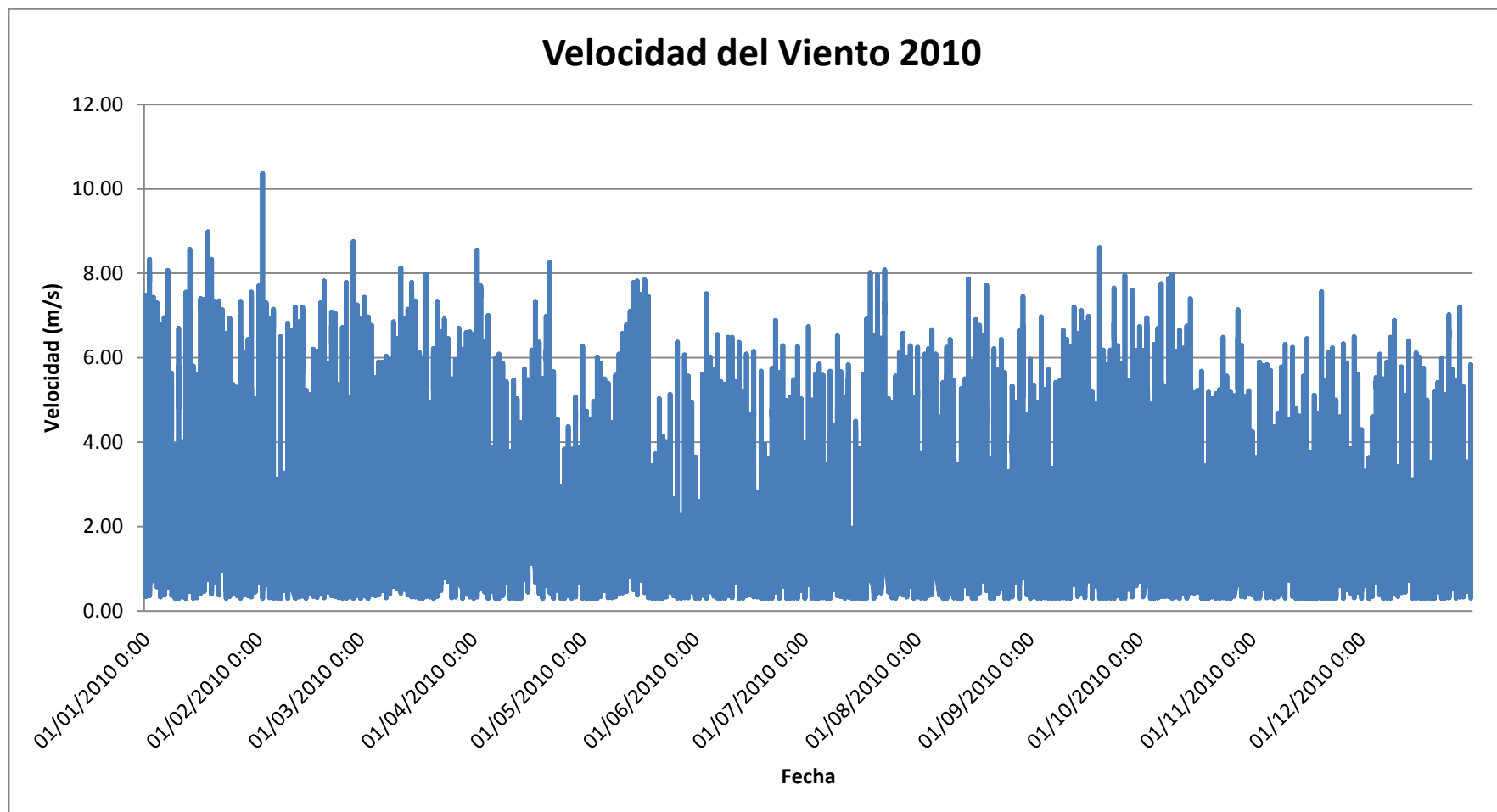
TROZZI C., PISCITELLO E., et. al. (2003). Modeling area, line and point sources for ISC model. methodology, computer interface and case studies, Emission inventories, Roma -Italy. pp. 1-27.

<http://nlquery.epa.gov/epasearch>.

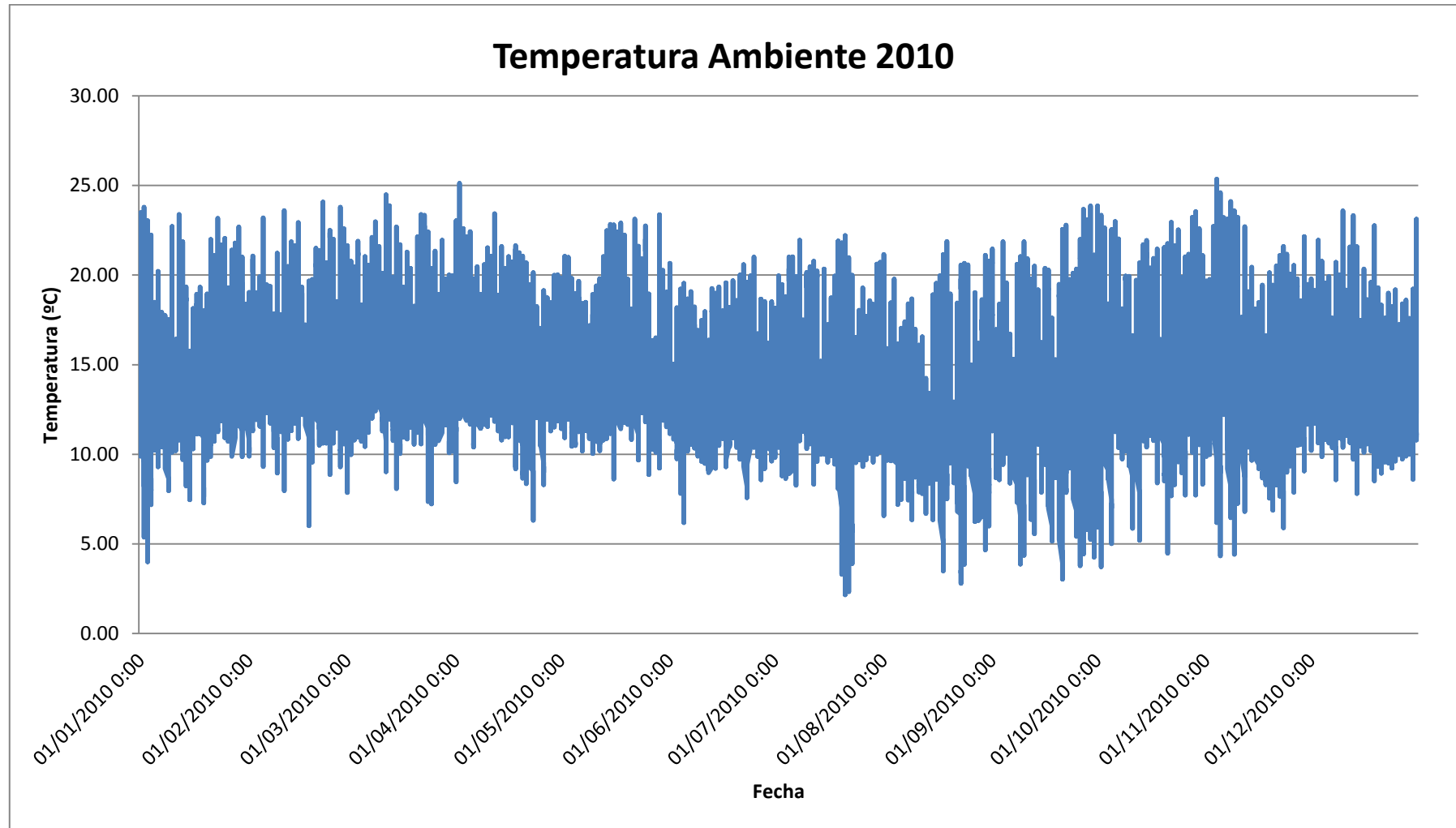
2015- 09-25

VALDERRAMA, M.J. (1995). Modelos matemáticos aplicados a las ciencias experimentales. Madrid- España. Piramide. pp. 21-224.

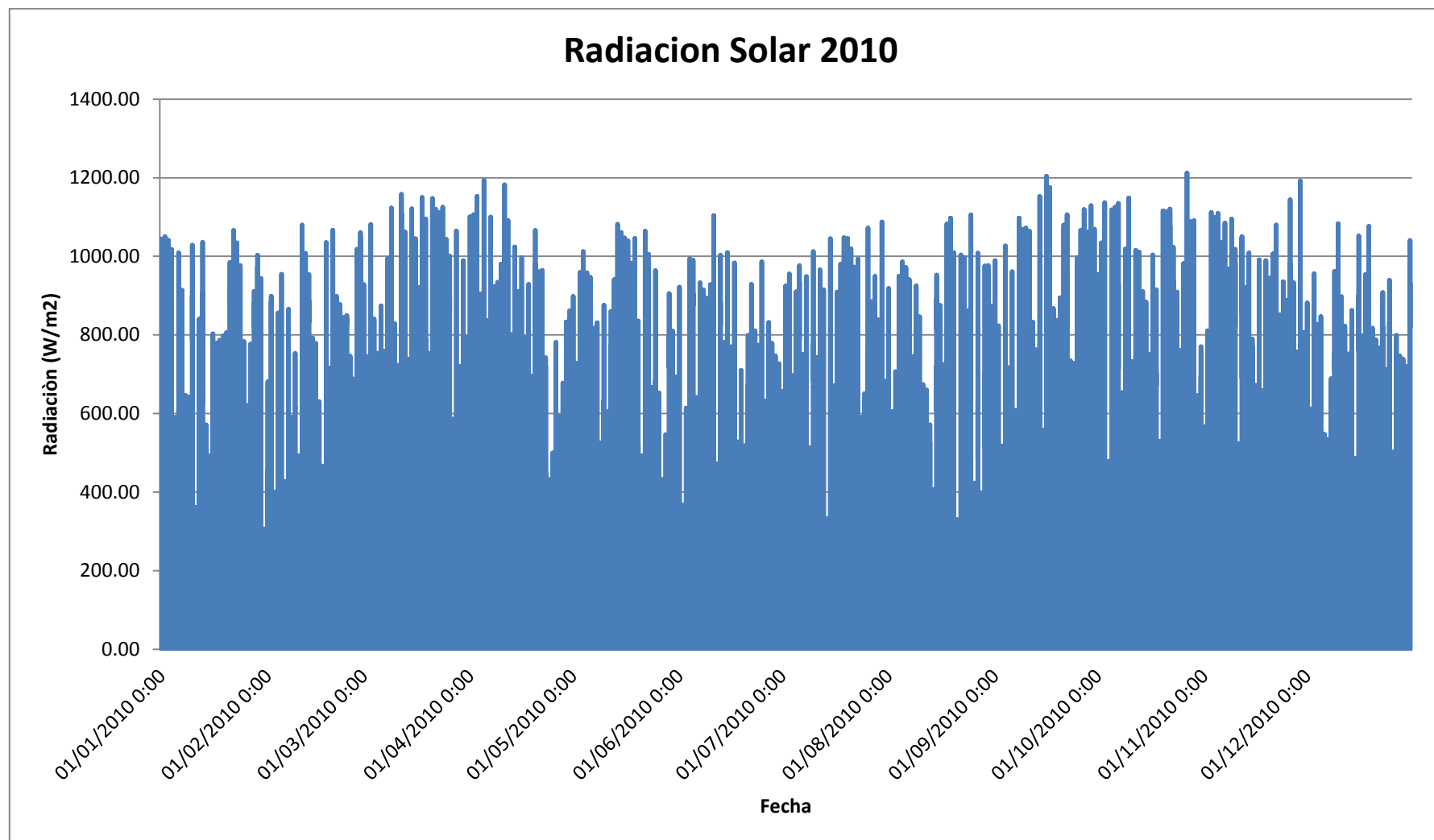
ANEXOS A. DATOS METEREOLÓGICOS VELOCIDAD DEL VIENTO 2010



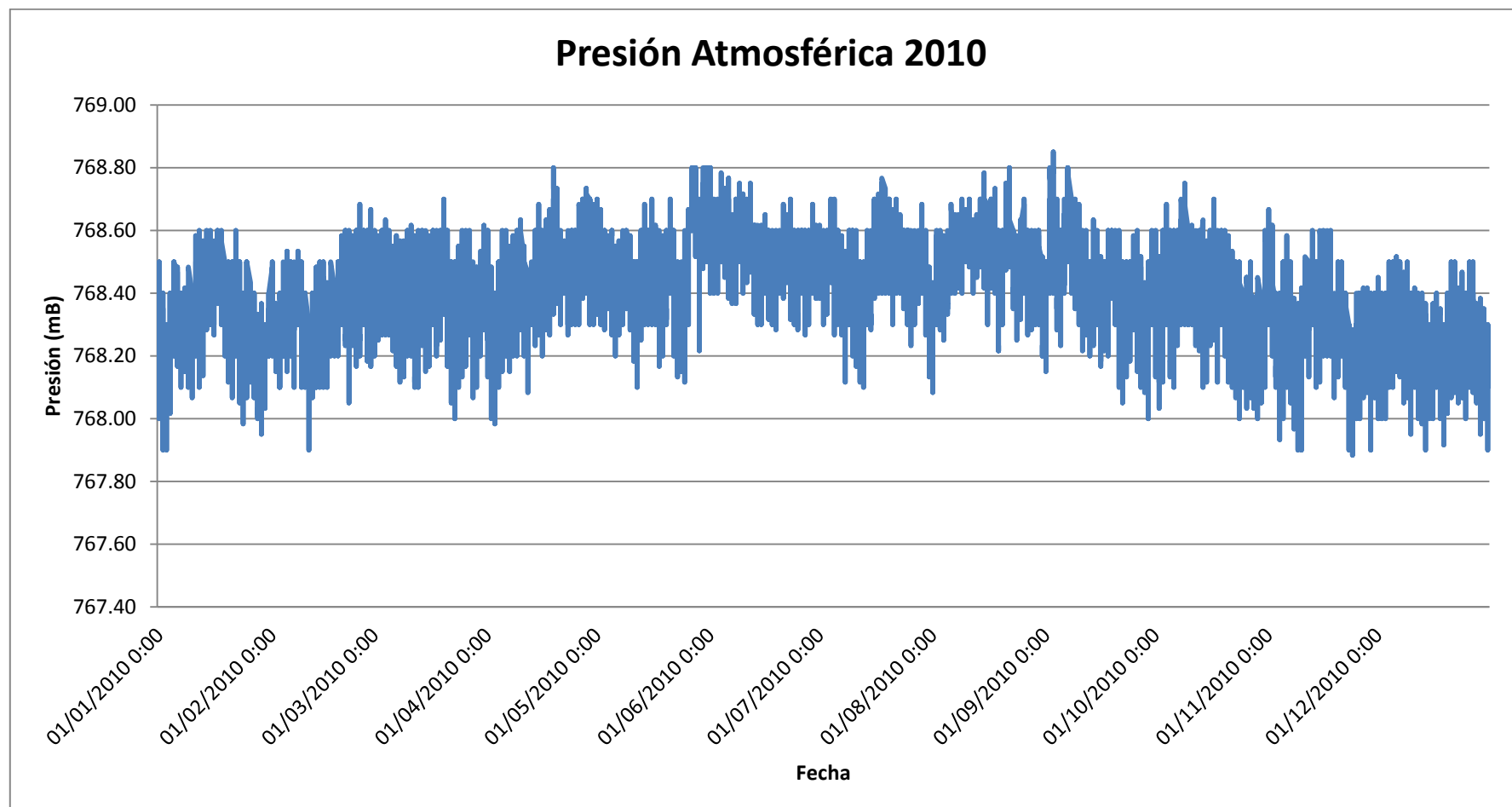
ANEXO B. DATOS METEREOLÓGICOS TEMPERATURA AMBIENTE 2010



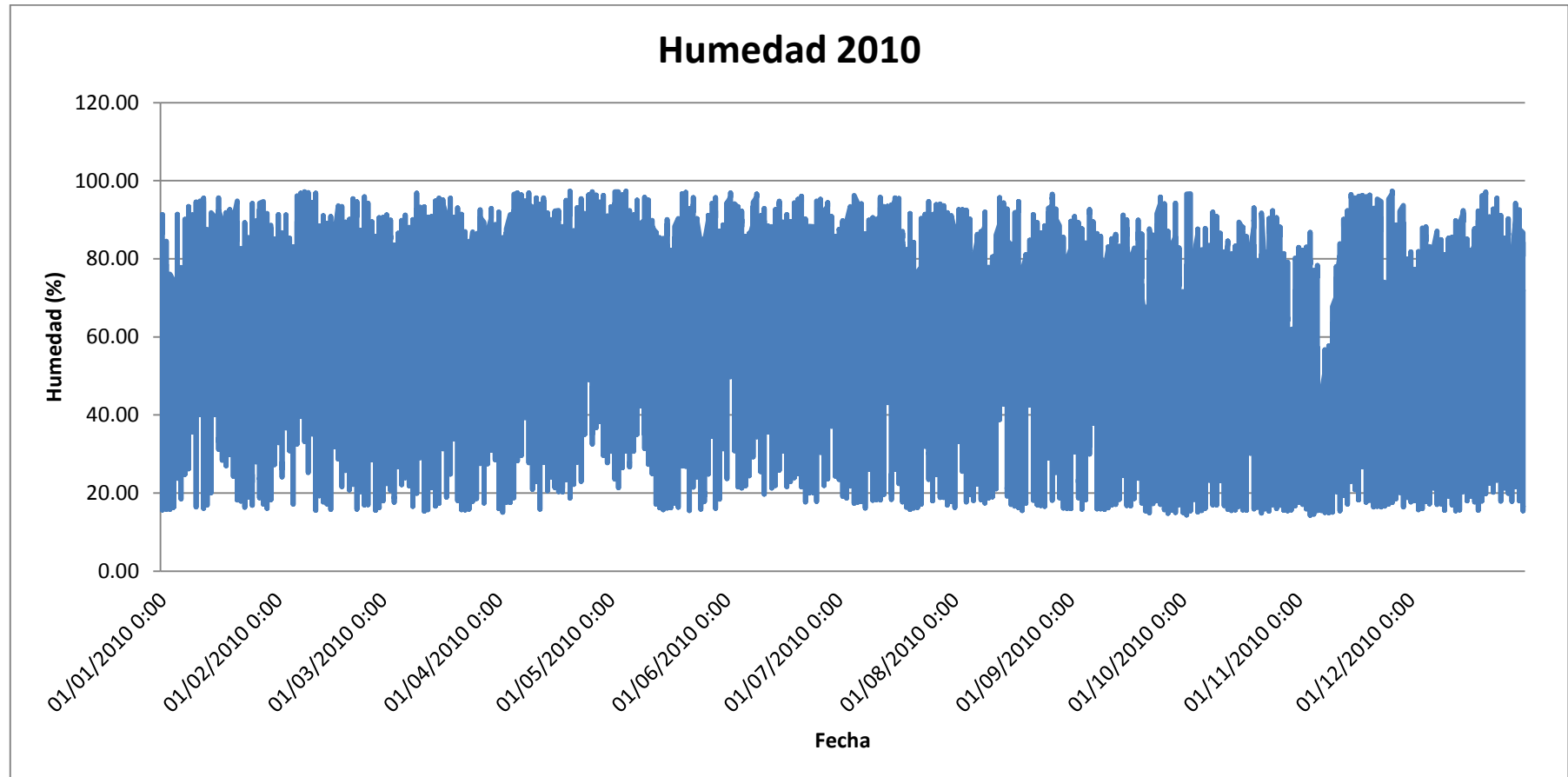
ANEXO C. DATOS METEREOLÓGICOS RADIACIÓN SOLAR 2010



ANEXO D. DATOS METEREOLÓGICOS PRESIÓN ATMOSFÉRICA 2010.



ANEXO E. DATOS METEREOLÓGICOS HUMEDAD 2010



ANEXO F. DATOS METEREOLÓGICOS DIRECCIÓN DEL VIENTO 2010

